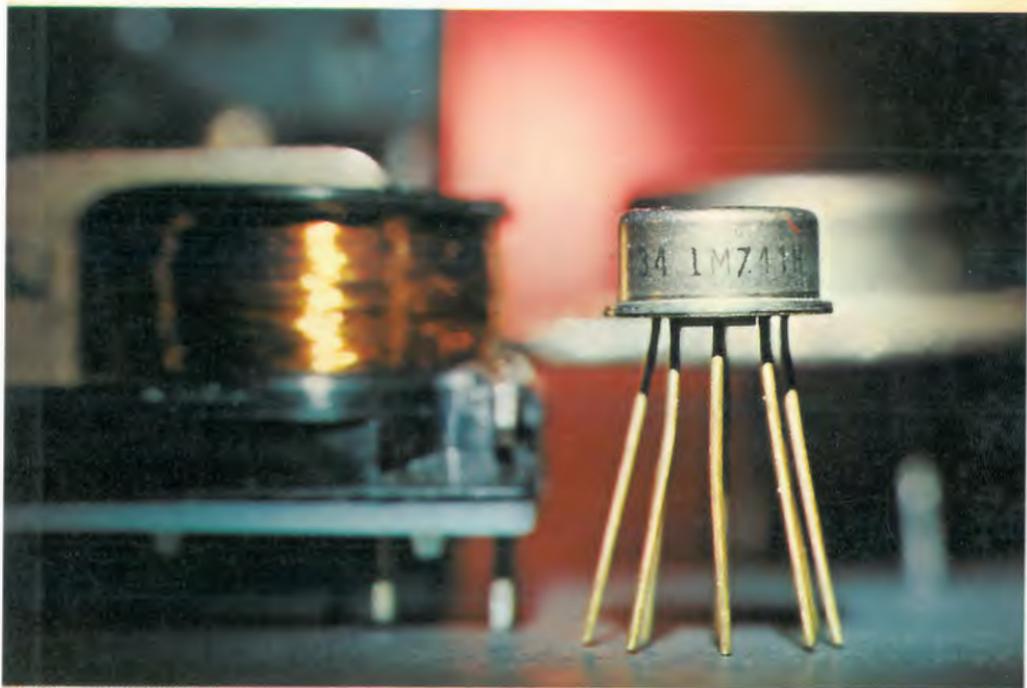
biblioteca
tascabile
elettronica

24

heinrich stöckle

# come si lavora con gli amplificatori operazionali

franco muzzio & c. editore

un'introduzione teorica
e pratica per gli hobbysti

**b**iblioteca **t**ascabile di **e**lettronica

coordinata da Mauro Boscarol

# 24

franco muzzio & c. editore

Heinrich Stöckle

# come si lavora con gli amplificatori operazionali

## Semplici circuiti per la casa e per hobby

Con 34 disegni nel testo
e 12 foto in 4 tavole

franco muzzio & c. editore

# Come si lavora con gli amplificatori operazionali

# 1. Proprietà degli amplificatori operazionali

In un libro per sperimentatori, la teoria deve essere contenuta nel minimo indispensabile. Alcune osservazioni sono però indispensabili, soprattutto nel caso si voglia progettare da soli qualche circuito. Consigliamo perciò di leggere questo primo capitolo dapprima molto velocemente, per tornarci poi eventualmente per una lettura più approfondita.

## 1.1 Perché amplificatori operazionali?

Si, perché, quando esistono già, per pochi spiccioli, dei buoni transistori? Le principali caratteristiche a vantaggio degli amplificatori operazionali, rispetto al singolo semiconduttore, sono numerose:
- amplificazione di corrente e tensione estremamente alta
- amplificazione di tensione regolabile in modo esatto
- tensione di uscita a riposo nulla
- alta impedenza d'ingresso
- deriva termica molto bassa
- trascurabile fattore di distorsione
- frequenza di lavoro dalla corrente continua all'AF
- due ingressi di pilotaggio

Essi hanno solo due piccoli inconvenienti. Il primo è che l'amplificatore operazionale è più costoso, circa 3-4 volte il costo di un transistore universale. In circuiti molto semplici, con solo uno o due transistori, non si useranno perciò degli amplificatori operazionali. L'altro svantaggio è che hanno più piedini di collegamento rispetto ai transistori, il che rende più difficoltosa la costruzione, ad esempio dei circuiti stampati. Vedremo comunque come questo piccolo ostacolo possa essere elegantemente aggirato.

## 1.2 Cos'è un amplificatore operazionale?

La denominazione *amplificatore operazionale* deriva dal termine inglese *operational amplifier* e si riferisce alle prime applicazioni per calcolatori analogici. L'espressione *amplificatore di calcolo* sarebbe stata più appropriata, ma non si è mai imposta. Dal punto di vista elettrico si tratta di un amplificatore in corrente continua. L'elemento vero e proprio è costituito da una minuscola piastrina in silicio coi lati inferiori ad un millimetro. Per facilitarne l'uso pratico, è stata montata in un contenitore relativamente enorme. Questo accade anche con i transistori, ed un amplificatore operazionale si distingue da questi essenzialmente dal numero dei piedini di collegamento (Fig. 1.01).

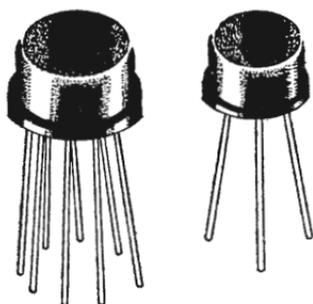



Fig. 1.01. Gli amplificatori operazionali integrati in contenitore metallico si differenziano dai transistori essenzialmente per il numero di piedini.

I circuiti integrati ottenuti per corrosione o diffusione di un singolo cristallo di silicio, sono chiamati *integrati monolitici* (dal greco *monos* = unico, *lithos* = pietra). Al contrario i circuiti integrati *ibridi* sono composti da più elementi miniaturizzati. Questa tecnica costruttiva viene comunque usata solo per circuiti difficilmente realizzabili in tecnica monolitica. I tipi che tratteremo qui di seguito sono esclusivamente del tipo monolitico, e fra questi solo alcuni tipi facilmente reperibili ed economici.

## 1.3 Proprietà degli amplificatori operazionali

Una descrizione abbastanza buona si compone all'incirca di 8 pagine per lo più in inglese. Per poterla rendere comprensibile bisognerebbe sacrificare una buona parte di questo manuale, con 3-4 pagine solo per la traduzione dei termini tecnici. Questo vogliamo evitarlo. Alcune delle proprietà fondamentali vengono comunque spiegate qui di seguito.

Negli amplificatori operazionali, è determinante in prima linea la grande *amplificazione di tensione* (amplificazione del segnale, amplificazione della tensione a riposo, *gain, large-signal voltage gain, open-loop voltage gain* ), che varia a seconda del tipo e dell'esemplare fra 10.000 e 1.000.000 (corrispondente a 80-120 dB). Questa alta amplificazione di tensione (da cui si può ottenere una analoga amplificazione di corrente) è però sfruttata solo in circuiti speciali come comparatori, interruttori o trigger di Schmitt. In altre applicazioni l'amplificazione viene ridotta a valori molto inferiori tramite delle resistenze esterne.

La *resistenza d'ingresso (input resistance)* è data nei fogli tecnici e può venir ricavata anche dalla *corrente d'ingresso (bias current)*, ovvero dalla corrente necessaria all'ingresso per il pilotaggio. Questa è normalmente dell'ordine di alcuni nanoampere fino ai microampere.

Sono inoltre importanti la tensione di alimentazione e la relativa tolleranza, e la regolazione della tensione a riposo, che tratteremo nei paragrafi seguenti.

Il comportamento al variare della frequenza dipende dal fatto che l'amplificatore operazionale sia compensato o meno internamente per variazioni di frequenza. A causa della loro eccezionale amplificazione di tensione, gli amplificatori operazionali sono negati per autoregolazione e per oscillazioni spurie, poiché anche le più piccole capacità, inevitabili nella costruzione fra filo e filo, fanno da accoppiatrici fra uscita ed entrata. Per questi motivi, devono essere previste delle ulteriori capacità di compensazione. In alcuni tipi queste capacità sono già integrate, mentre in altri

devono venire collegate appositamente all'esterno. I tipi compensati internamente non presentano alcun problema per le autooscillazioni, hanno però lo svantaggio di amplificare meno tensioni alternate con frequenza crescente. Ciò dipende dal fatto che la compensazione di frequenza deve essere calcolata per il caso più sfavorevole, ovvero per una amplificazione di 1. Se ad esempio si dovesse usare un amplificatore di questo tipo con una amplificazione di 10, la banda di bassa frequenza udibile verrebbe trasferita interamente senza disturbi, con una amplificazione di 100, al contrario, le frequenze più alte verrebbero tagliate. Per questo motivo esistono dei tipi in cui la compensazione di frequenza viene effettuata esternamente in modo da avere un comportamento lineare fino alle frequenze più alte. Noi tratteremo, con esempi pratici, entrambi i tipi.

## 1.4 L'alimentazione

I transistori vengono alimentati normalmente con una sola tensione, gli amplificatori operazionali necessitano invece di una tensione positiva e di una tensione negativa, riferite allo zero. Queste

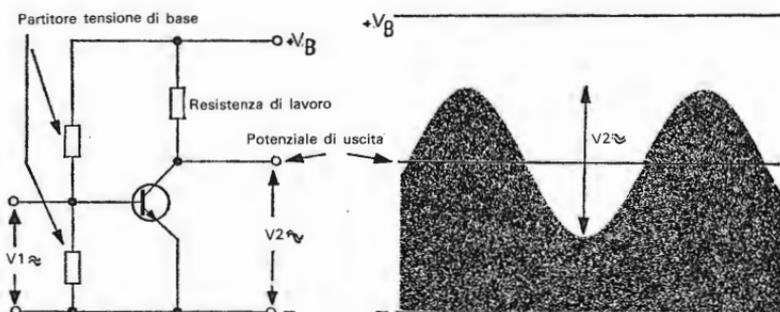



Fig. 1.02. Uno stadio amplificatore usuale si stabilizza su un determinato punto di lavoro dipendente dalla tensione di base (sinistra) ed è perciò pilotabile simmetricamente dalle due parti (destra).

tensioni di alimentazione sono normalmente limitate verso l'alto a ±18 V (*power supply*). Per questo, nel caso venga fatto funzionare con tensioni alte, l'amplificatore necessita di una stabilizzazione della tensione, per prevenirne la distruzione da sovratensioni (1 o 2 V di sovratensione non sono comunque dannosi, per lo meno nella maggior parte dei casi).
Un comune stadio a transistori, pilotabile simmetricamente, ad esempio per l'amplificazione di una tensione alternata, ha un determinato punto di lavoro, e in condizioni di riposo all'uscita c'è una tensione V2, come si può vedere dalla Fig. 1.02. Pilotando il transistore con una audiofrequenza, il transistore va più in conduzione o in interdizione ad ogni semionda (parte destra della Fig. 1.02). Per molte applicazioni è però un inconveniente il fatto che all'uscita ci sia una tensione anche in mancanza di pilotaggio all'ingresso. In questo modo non si potrebbe mai pilotare uno strumento di misura, poiché anche in condizione di riposo darebbe sempre una indicazione. Disponendo di una tensione ausiliaria, corrispondente a V2, si potrebbe far sì che lo strumento, a riposo, indichi zero. Questo si fa appunto con gli amplificatori operazionali.
Si potrebbe anche pensare e dire che una seconda tensione di alimentazione sia superflua, poiché l'amplificatore si può pilotare

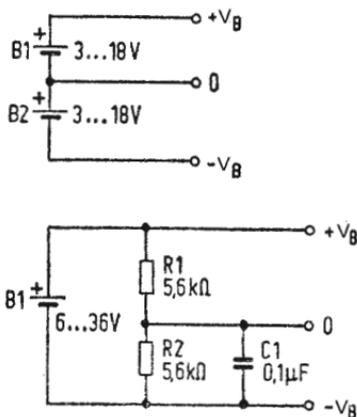



Fig. 1.03. Affinché un amplificatore operazionale sia pilotabile simmetricamente, sono necessarie due tensioni di alimentazione fornite da due batterie collegate in serie (sopra) o da due alimentatori; per basse correnti di uscite si può anche realizzare un punto di zero virtuale dimezzando la tensione di alimentazione con un partitore resistivo (sotto) dove il condensatore serve da cortocircuito per componenti alternate.

anche in modo che a riposo dia in uscita una tensione sempre a zero. Purtroppo non è così, perché anche un amplificatore operazionale in definitiva è composto da transistori anche loro con una propria tensione di ginocchio. Per questo motivo la tensione minima in uscita, ad esempio nel tipo 741 C, è all'incirca 2 V sopra il potenziale negativo e 1 V sotto il potenziale positivo della tensione di alimentazione.
Per questo vengono previste due tensioni di alimentazione, collegate assieme come nella parte superiore di Fig. 1.03. Siccome però la maggior parte dei circuiti elettronici necessitano di correnti molto basse, invece di due sorgenti distinte di alimentazione, si usa un partitore di tensione con due resistenze, dove il punto centrale viene usato come zero (virtuale), come in Fig. 1.02, parte inferiore. Il condensatore C1 serve da disaccoppiatore e da cortocircuito per la componente alternata della tensione di alimentazione.
Poiché la maggior parte delle apparecchiature non viene alimentata con batterie, bensì dalla rete, qui di seguito viene presentato un alimentatore, che salvo controindicazioni va bene per tutti i circuiti successivi. Come trasformatore è usato un tipo con i piedini per il collegamento su circuiti stampati e di sicuro affidamento. Il trasformatore ha una potenza di 2,5 VA così che permette anche l'eccitazione di un relé. Il circuito è quello di Fig. 1.04. Poiché con questi piccoli trasformatori la tensione dipende molto dal carico, è prevista anche una semplice stabilizzazione. La tensione di uscita

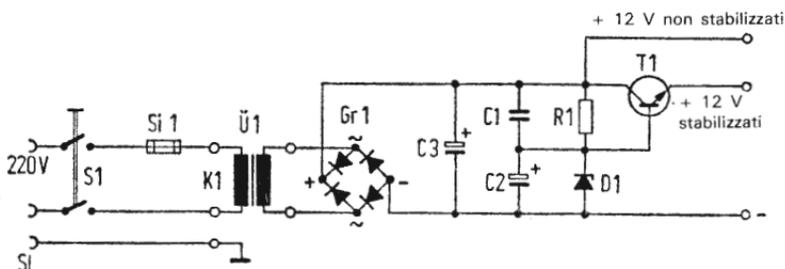



Fig. 1.04. Circuito di un alimentatore con tensione di 12 V stabilizzati e potenza di due Watt.

arriva appena a 12 V. Anche se il transistore può sopportare correnti fino a circa 100 mA, si consiglia di alimentare eventuali carichi a bassa resistenza, come dei relé, con la tensione non stabilizzata.

**Lista componenti dell'alimentazione di Fig. 1.04**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 330 pF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 100 μF/25 V |
| C3 | Condensatore elettrolitico 470 μF/40 V |
| D1 | Diodo zener da 12 V, ZDP 12 o altri |
| Gr1 | Raddrizzatore a ponte 40 V/800 mA |
| K1 | Connettore a 3 poli |
| R1 | Resistenza 820 Ω ± 5%, 1/4 W |
| S1 | Interruttore a due poli |
| Si1 | Fusibile da pannello da 0,125 A |
| T1 | Transistore di potenza npn 2N 1613 |
| U1 | Trasformatore 220 V/12 V, 2,5 VA, con piedini per circuito stampato, cavo di alimentazione a tre poli |

L'alimentatore può essere montato su un circuito stampato, su una piastrina sperimentale o su una tavoletta di legno. Il cavo di massa va collegato al telaio nel caso lo stesso sia metallico, altrimenti rimane libero.
Per mantenere più chiari i prossimi circuiti, l'alimentatore non viene più disegnato, bensì si fa solo riferimento alle tensioni di alimentazione.

## 1.5 Regolazione della tensione a riposo

Anche se un amplificatore operazionale lavora in modo molto più esatto di un normale circuito a transistori, rimangono comunque delle differenze ed inesattezze che rendono la tensione di uscita a riposo non esattamente uguale a zero. Questa tensione residua è sì di solo pochi millivolt, ma in molti casi non si vuol avere neppure questo resto. Per questo scopo molti tipi sono dotati di un collegamento per la taratura dello zero (*balance*). Con un potenziometro trimmer collegato esternamente, viene compensata la tensione residua a riposo (*offset voltage*).

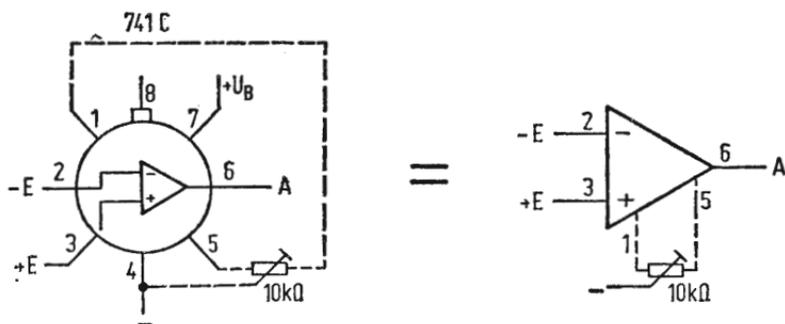



Fig. 1.05. Per gli amplificatori operazionali negli schemi si usa allo stesso modo lo schema analogo al contenitore (sinistra) o il simbolo semplificato (sinistra); entrambi i potenziometri sono per la regolazione dello zero, qui per il tipo 741 C.

A questo punto va spiegato il simbolo schematico dell'amplificatore operazionale. Poiché già i tipi più semplici si compongono di 18 singoli transistori, è inutile trattare lo schema del circuito integrato nel suo interno. Esso sarebbe comprensibile in ogni caso solo a pochi. C'è inoltre da considerare che molti costruttori non rendono per niente noto lo schema del circuito interno. Ci limiteremo perciò al semplice simbolo di amplificatore rappresentato in Fig. 1.05 a destra. Considerando tutti i piedini di collegamento, dovrebbe comunque essere più esuriente la rappresentazione di Fig. 1.05 a sinistra. Entrambe le rappresentazioni hanno tratteggiato il potenziometro di bilanciamento. Il valore di 10 kΩ è corretto però solo per alcuni tipi, come ad esempio il tipo 741 C. Altri amplificatori prevedono altri valori. La tratteggiatura di questo potenziometro sta a indicare che il trimmer non è sempre necessario. In molte applicazioni, come ad esempio per amplificatori per frequenze acustiche, esso può essere tranquillamente tralasciato.

# 2. Il montaggio di amplificatori operazionali integrati

Dopo aver visto le principali caratteristiche di questi componenti passiamo al loro uso pratico spiegandolo con dei semplici circuiti. Questo capitolo contiene inoltre delle considerazioni sull'uso di questi elèmenti e sulla loro presentazione pratica.

## 2.1 Forme dei contenitori

Dalla Foto 1 della Tavola 1 ci si può fare una idea di come si presenta un integrato di questo tipo. Nella Fig. 2.01 sono disegnati altri tipi di contenitore. Non è comunque riportato il contenitore a

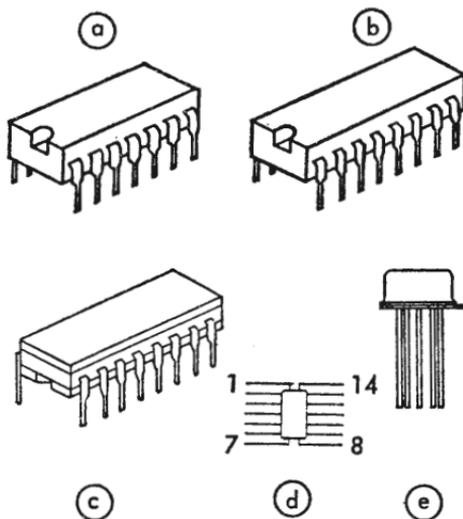



Fig. 2.01. Forme dei contenitori di circuiti integrati monolitici.
a Contenitore in plastica (DIL, Dual in line) a 14 poli
b Contenitore in plastica a 16 poli
c Contenitore in metallo-ceramica a 16 poli
d Contenitore piatto
e Contenitore cilindrico in metallo

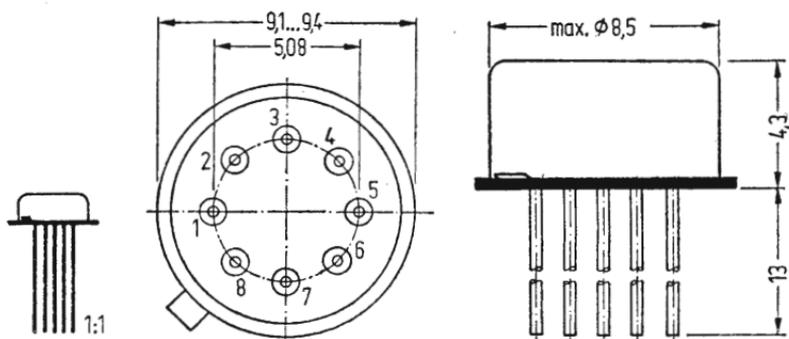



Fig. 2.02. Misure d'ingombro del contenitore metallico a 8 poli.

8 poli mini-DIP, che si può vedere invece nella Foto 1 della Tavola 1. Per gli amplificatori descritti in questo libro sono usati integrati in contenitore metallico, e contenitori a 8 e 14 piedini dual in line. I due tipi Dual in Line hanno lo svantaggio di avere i piedini rigidi e non piegabili. Di conseguenza i fori sul circuito stampato devono essere eseguiti molto esattamente. I fori sono inoltre da fare ad una distanza di 2,54 mm l'uno dall'altro, il che complica ancor più l'esecuzione. Chi desidera eseguire in proprio i circuiti stampati si accorgerà da solo che il rispetto di queste misure, riserva alcune difficoltà.
Per questo motivo vengono usati preferibilmente i tipi in contenitore metallico. La Foto 2 della Tavola 1 dà un'idea di come siano piccoli. Ciononostante sono facili da maneggiare. I piedini lunghi e flessibili sono facili da piegare e, usando circuiti stampati, non si avrà nessuna sorpresa.
A seconda del tipo, i contenitori metallici sono a 8, 10 o più piedini. Gli amplificatori più economici ed universali sono comunque in contenitore metallico a 8 piedini il cui schema di collegamento è riportato in Fig. 2.02. C'è da tener presente che in questo disegno è rappresentata la vista dal basso del contenitore, ovvero quella che serve per disegnare i circuiti stampati. Negli esempi di circuiti

l'integrato è sempre disegnato con vista dall'alto il che rende più chiaro lo schema funzionale e più facile la sperimentazione.

### 2.2 Il collegamento dei piedini

In un amplificatore operazionale integrato, anche per i circuiti più semplici devono venir collegati almeno 5 piedini, al contrario del transistore dove i piedini da collegare erano solo 3. Gli 8 piedini del tipo 741 C hanno il seguente significato (Fig. 2.03):

1 bilanciamento
2 ingresso invertito
3 ingresso non invertito
4 negativo della tensione di alimentazione
5 bilanciamento
6 uscita
7 positivo della tensione di alimentazione
8 non collegato

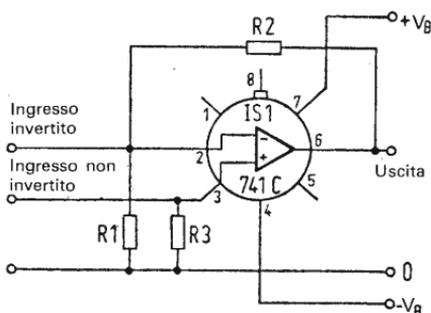



Fig. 2.03. Circuito fondamentale di un amplificatore operazionale; i piedini sono disegnati secondo la vista dal basso del contenitore metallico a 8 poli.

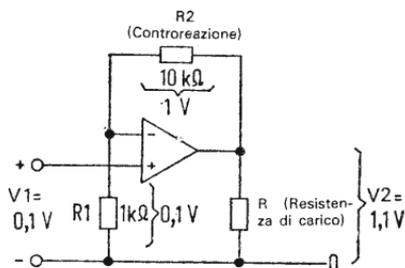
Come già accennato, non sempre è necessario un bilanciamento, ed in questi casi i piedini 1 e 5 possono rimanere liberi. L'ingresso non invertito 3 viene collegato con la resistenza R3 al potenziale di massa. In questo modo si fa sì che all'uscita ci sia un potenziale zero, riferito alla massa, finché non è applicato un segnale ad uno od entrambi gli ingressi.

Allo stesso modo viene collegato a potenziale zero anche l'ingresso invertito tramite la resistenza R1. Entrambi gli ingressi lavorano indipendentemente però uno in contrapposizione all'altro. Applicando un segnale positivo all'ingresso non invertito, l'uscita diventa anche positiva rispetto al potenziale zero. Se si

applica un segnale positivo all'ingresso invertito, l'uscita diventa negativa, ovvero il segnale viene invertito.
E passiamo quindi alla resistenza R2 che è forse un po' più difficile da capire. Essa collega l'uscita con l'ingresso invertito ed ha il compito di controreazionare l'amplificatore. Al contrario della reazione che amplifica il segnale, la controreazione ha una azione di smorzamento. Ciò è assolutamente necessario con gli amplificatori operazionali integrati perché solo raramente se ne può sfruttare completamente l'eccezionale amplificazione di tensione.
Con la resistenza di controreazione si può regolare esattamente l'amplificazione di tensione col limite della tolleranza delle resistenze R1 e R2. Consideriamo a proposito il circuito di Fig. 2.04. Ammettiamo che all'ingresso non invertito sia applicata una tensione V1 = 0,1 V. L'amplificatore operazionale porta quindi la sua uscita ad una tensione, e questo fatto è molto importante per comprendere il suo funzionamento, come se all'altro ingresso fosse applicata la stessa tensione ovvero V1 = 0,1 V. Ai capi di R1 si deve perciò avere una caduta di tensione di 0,1 V, con R1 = 1 kΩ. Ai capi della resistenza R2 = 10 kΩ, ovvero dieci volte più grande si dovrà perciò avere una caduta di tensione di 1 V. All'uscita si avrà perciò una tensione di 0,1 V + 1 V = 1,1 V. Si ricava perciò la semplice equazione

$$\frac{V2}{V1} = \frac{R1 + R2}{R1} = v$$

dove v è l'amplificazione di tensione ovvero il rapporto fra tensione di uscita e tensione di ingresso. Nel caso di grandi amplificazioni, cioè quando R2 è molto più grande di R1, l'equazione può essere semplificata e si può dire che l'amplificazione di tensione è v = R2/R1. Questa semplice relazione va tenuta presente poiché nell'esame pratico di un circuito viene continuamente usata.
Facendo funzionare l'amplificatore anche come invertitore, si ha v = R2/R1.

Fig. 2.04. Rete di controreazione.

## 2.3 Possibilità di montaggio

Chi vuole eseguire esperimenti con gli amplificatori operazionali, ha molte possibilità. Tutte hanno i loro vantaggi e svantaggi. Quando non si voglia costruire una apparecchiatura in forma definitiva, si deve eseguire un montaggio veloce con facilità di sostituzione dei componenti. Questa esigenza è soddisfatta egregiamente con delle piastrine sperimentali a connettori. La Foto 3 della Tavola 1 raffigura il tipo della Kosmos. Ci sono comunque in commercio tanti altri tipi di piastrine di questo genere.

Non tutti sono però disposti ad acquistare una piastrina sperimentale che costa pure dei soldi. Il metodo più economico è senza dubbio quello della tavoletta in compensato. In questo caso è più adatto l'amplificatore operazionale con contenitore metallico; i suoi lunghi piedini possono venire infatti piegati facilmente verso l'esterno e saldati su delle borchie metalliche incassate nel legno e disposte circolarmente. Vanno molto bene allo scopo dei ribattini che non siano però in acciaio o in materiale sintetico, poiché in questo caso sarebbe impossibile la saldatura. La Foto 4 della Tavola 2 rappresenta un amplificatore realizzato con questo metodo. Nella Fig. 6 della Tavola 2 è raffigurata l'apparecchiatura finita.

Alcuni non hanno molta fiducia nelle tavolette di legno. Per questi è consigliabile l'uso di circuiti stampati su piastrine sperimentali. Si possono acquistare nelle forme più svariate. Nella Foto 5 della

Tavola 2 vediamo una di queste piastrine che può alloggiare fino a tre integrati. Poiché i piedini del contenitore metallico si piegano molto facilmente, queste piastrine possono venir usate anche per questa versione. A proposito quando si piegano i piedini, bisogna farlo tenendo fermo il piedino con una pinzetta piatta fra contenitore e punto di piegatura in modo che il piedino non vada a toccare il bordo del contenitore stesso. Altrimenti l'imbevitura di vetro all'interno del contenitore può venir danneggiata.
Oltre a queste piastrine universali, ne esistono anche di apposite per gli amplificatori operazionali; esse sono in metallo e possono contenere uno stadio completo di resistenze, condensatori compreso anche il partitore per generare il potenziale zero. La Fig. 8 della Tavola 3 raffigura una piastrina di questo tipo. Essa è adatta per i tipi 741 e 709 e per tipi con la stessa occupazione dei piedini.
Naturalmente si possono combinare assieme diversi metodi di montaggio. Un amplificatore operazionale da solo può essere parte di un circuito o addirittura una apparecchiatura completa. Si può molto facilmente montare ogni stadio dell'amplificatore operazionale su una piastrina da montare poi come modulo in un circuito più complesso, come un sistema a tavolette o a connettori su una piastra sperimentale più grande. Altre soluzioni o varianti possono essere trovate dallo sperimentatore stesso.

# 3. Strumenti di misura con amplificatori operazionali

All'inizio non è necessario alcun strumento di misura, per autocostruire dei circuiti e per provarli, in molti casi basta una batteria a secco o un alimentatore con tensione di uscita fissa come quello descritto al paragrafo 1.4. Chi dovesse invece occuparsi più intensamente del proprio hobby, prima o poi si decide per uno strumento di misura. A seconda delle esigenze poste esiste una grande quantità di schemi per questo scopo. Di tutte le possibilità, qui ne sono state scelte solo alcune, ed esattamente solo quelle che prevedono l'impiego di un amplificatore operazionale.

## 3.1 Voltmetro elettronico con indicazione a spia

Uno strumento di misura indicatore costa oggi all'incirca almeno 10.000 Lire. Poiché esso ha una impedenza troppo bassa per misure su circuiti a semiconduttori, normalmente è richiesto anche un trasformatore di impedenza o un amplificatore di misura. Il costo sale quindi molto rapidamente. Una possibilità di risparmio sta nel sostituire il costoso strumento indicatore con delle spie. Un circuito che risponde a queste esigenze è quello riportato in Fig. 3.01. Il cuore di tutto il circuito è un amplificatore operazionale collegato come comparatore di tensione. Ciò si ottiene eliminando la resistenza di controreazione. L'amplificatore lavora quindi a piena amplificazione a vuoto (minimo 20.000 volte). Basta quindi una minima tensione (alcuni millivolt) affinché l'uscita da uno stato di saturazione passi all'altro. A seconda se l'amplificatore ha l'uscita in saturazione allo stato positivo o negativo, si accende una delle due spie. Si può usare uno qualsiasi dei

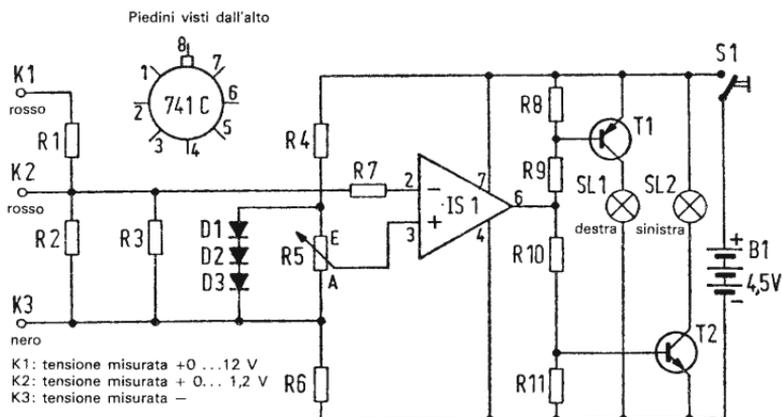



Fig. 3.01. Schema di un voltmetro elettronico con indicazione a spia.

tipi di amplificatori in commercio. Nel nostro prototipo è stato usato l'economico 741 C. All'ingresso invertito viene applicato la tensione da misurare, mentre all'ingresso non invertito è applicata una tensione di riferimento generata con tre diodi e prelevata dal potenziometro R5.

Il prototipo è provvisto di un partitore di tensione e di due ingressi per tensioni da misurare da 0-1,2 V e 0-12 V. Il fondo scala viene determinato dalla tensione di riferimento ovvero dal tipo e numero di diodi. Naturalmente la portata dello strumento di misura può essere ampliata oppure lo si può adattare per la misurazione di correnti tramite delle resistenze. Per misurare si gira il potenziometro fino al punto in cui le due spie raggiungono il punto di commutazione. Il senso di rotazione del potenziometro viene segnalato dalla spia « destra » o « sinistra ». Senza la controreazione non esiste praticamente nessun punto di rotazione del potenziometro in cui nessuna delle due lampade siano accese, il che sarebbe teoricamente possibile. Quale delle due lampade si accenda col potenziometro in posizione zero, dipende dalla polarità della tensione di offset.

**Lista componenti**

| | |
|---|---|
| B1 | Batteria a secco da 4,5 V con portabatterie |
| D1, D2 | 2 Diodi al silicio 1N 4154 o equivalenti |
| D3 | 1 Diodo al germaio AA 143 o equivalente |
| IS | Amplificatore operazionale 741 C |
| K1, K2 | 2 Boccole rosse |
| K3 | 1 Boccola nera |
| R1 | Resistenza 2,7 MΩ |
| R2 | Resistenza 2,7 MΩ |
| R3 | Resistenza 330 kΩ |
| R4 | Resistenza 2,7 kΩ |
| R5 | Potenziometro da 10 kΩ a strato con manopola |
| R6 | Resistenza 2,7 kΩ |
| R7 | Resistenza 270 kΩ |
| R8 | Resistenza 330 Ω |
| R9 | Resistenza 680 Ω |
| R10 | Resistenza 680 Ω |
| R11 | Resistenza 330 Ω |
| | (le resistenze si intendono con tolleranza ± 10%, 1/4 Watt) |
| S1 | Interruttore unipolare |
| SL1, SL2 | 2 Lampade spia da 6 V |
| T1 | Transistore pnp BC 214 o equivalenti |
| T2 | Transistore npn BC 184 o equivalenti |
| | 1 Sacchetto di ribattini |

Lo strumentino si realizza con la minor spesa su una tavoletta di legno con dei ribattini come punti di saldatura. Dalla Foto 6 della Tavola 2 si vede come si presenta all'incirca lo strumento. La scala e le frecce indicanti il senso di rotazione, si disegnano su della carta autoadesiva.

## 3.2 Costruzione e taratura

La taratura si può ottenere molto bene incollando una piccola freccia colorata alla manopola del potenziometro e descrivendo poi il disco di carta sottostante. Chi dispone già di un voltmetro naturalmente lo userà per trattare l'apparecchio. Chi invece non ce l'ha può usare come tensione campione quella fornita da delle batterie a secco nuove. Se le batterie sono nuove e sono caricate, col circuito forniscono abbastanza fedelmente la loro tensione nominale. Gli altri punti si ottengono marcando nuovamente lo zero e suddividendo l'angolo di rotazione in parti uguali.

Teoricamente la scala dovrebbe essere lineare in tutta la sua ampiezza. Le irregolarità dei potenziometri di tipo economico sono però incredibili! Chi non dispone di un voltmetro per la taratura dovrebbe perciò scegliere un potenziometro professionale per non rendere eccessivamente inesatto l'apparecchio. Considerando anche la durata delle batterie si devono prevedere delle spie che a 6 V assorbano circa 0,6 W. Si possono comunque usare delle comuni spie. La tensione deve essere fra 3,8 e 6 V.

### 3.3 Voltmetro ad alta impedenza

Dall'esperienza si sa che la maggior parte delle misure di tensioni continue riguardano misure di circuiti con semiconduttori. Misure di correnti e misure di tensioni alternate ricorrono molto raramente. Vogliamo perciò vedere un altro semplice voltmetro, questa volta con uno strumento indicatore.
Le tensioni da misurare possono arrivare fino a 50 V. La tensione minima misurabile è la tensione base-emettitore dei transistor. Per i tipi al germanio è di circa 0,2 V. Vogliamo che lo strumento abbia tre portate, e cioè: 1 V, 10 V, 100 V. Affinché lo strumento non influenzi eccessivamente il circuito in cui la tensione viene misurata, il voltmetro deve avere alta impedenza di ingresso. La resistenza di ingresso viene determinata dal partitore di tensione. Affinché lo strumento indicatore, a bassa resistenza, non influenzi il circuito, fra entrambi va inserito un adattatore di impedenza, e cioè meglio di tutti un amplificatore operazionale. La sua corrente di ingresso provoca comunque una caduta di tensione più o meno grande al partitore di tensione, che falserà l'indicazione. Più alta è la resistenza del partitore di tensione e più piccola sarà anche la corrente di ingresso dell'amplificatore operazionale. Per soddisfare questa condizione questa volta non usiamo un amplificatore del tipo universale, bensì un amplificatore operazionale con ingresso a FET. Molto convenienti anche se un po' più cari del tipo 741 C sono gli amplificatori CMOS.

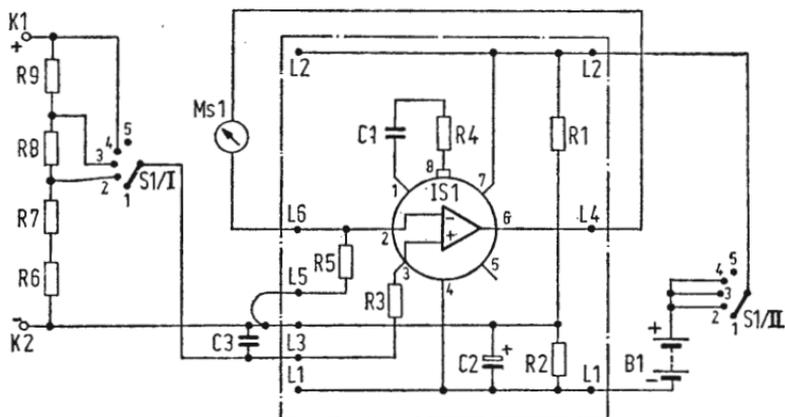



Fig. 3.02. Voltmetro elettronico ad alta resistenza con un amplificatore operazionale come convertitore di impedenza.

Dallo schema di Fig. 3.02 si può vedere che l'amplificatore è compensato in frequenza con C1 e R4. R1, R2 e C2 generano il punto di zero virtuale. R3 è una resistenza di protezione affinché i diodi di protezione nell'integrato non vengano distrutti in caso di sovraccarico. Lo strumento indicatore Ms1 serve qui da resistenza di controreazione. Se ve lo disegnate da soli su un pezzo di carta ciò diventerà più chiaro. La chiave di tutto è la seguente. Poiché è molto difficile reperire degli strumenti con 1 V fondo scala, ne è stato scelto uno con 100 μA fondo scala. Esso deve però indicare tensione e non corrente. Questo è ottenuto con la resistenza R5 da 10 kΩ a cui è collegata la controreazione. Quando ad esempio all'ingresso non invertito 3 è applicata una tensione di 1 V, l'amplificatore operazionale porta la sua uscita a una tensione tale che anche all'ingresso 2 ci sia pure una tensione di 1 V. Se ai capi della resistenza da 10 kΩ c'è una caduta di tensione di 1 V, per la legge di Ohm vuol dire che attraverso la resistenza passa una corrente di 100 μA. Quello che passa attraverso la resistenza passa però anche attraverso lo strumento indicatore. In questo modo abbiamo ottenuto una corrente analoga alla tensione.

Fig. 3.04. Schema di montaggio della piastrina universale di Fig. 3.03 per il circuito di Fig. 3.02.

Fig. 3.03. Disegno del circuito stampato per un circuito amplificatore con amplificatore operazionale di impiego universale.

Per evitare la taratura dello strumento, per il partitore di tensione sono state usate delle resistenze di precisione. Il condensatore C3 serve per evitare escillazioni e dovrebbe essere montato subito all'ingresso nei punti di saldatura. I componenti disegnati dentro la linea tratteggiata, si trovano su una piastrina universale sviluppata appositamente per l'amplificatore operazionale. Il disegno per il circuito stampato è quello di Fig. 3.03. Consigliamo di prepararne più di una giacché la useremo spesso. Chi non vuole incidere da solo la piastrina la può acquistare già pronta. I componenti vanno montati come in Fig. 3.04. Le resistenze R6-R9 possono venir montate su una piastrina a sé.

Il commutatore a 2 × 5 contatti è collegato in modo che nella posizione 1 le batterie siano staccate. In posizione 2 è predisposto per 100 V di fondo scala, in posizione 3 per 10 V e in posizione 4 per 1 V. Col secondo cursore il commutatore inserisce le batterie nelle posizioni da 2 a 4. Il circuito lavora con una tensione di alimentazione di 6-20 V, così che non è necessaria alcuna stabilizzazione. Come strumento di misura è usato un Wisometer da

65/100 μA con una suddivisione grossolana e fine della scala e con copertura della apparecchiatura di misura così che può essere montato su un pannello metallico o no. L'apparecchiatura può essere comodamente alloggiata in un contenitore blu commerciale.

**Lista componenti del voltmetro ad alta resistenza di Fig. 3.02**

| | |
|---|---|
| B1 | Batteria da 9 V con attacco |
| C1 | Condensatore 150 pF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 10 μF/25 V con connettore |
| C3 | Condensatore 150 pF |
| IS | Amplificatore operazionale integrato CA 3130 T |
| K1 | Cavetto di collegamento rosso |
| K2 | Cavetto di collegamento blu |
| L1-L6 | Supporti per saldature |
| Ms1 | Wisometer 65/100 uA |
| R1 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R2 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R3 | Resistenza 560 Ω |
| R4 | Resistenza 10 Ω |
| | (le resistenze R1-R4 sono da 0,3 W e tolleranza ± 5%) |
| R5 | Resistenza 10 kΩ ± 1% |
| R6 | Resistenza 390 Ω ± 5% |
| R7 | Resistenza 33 kΩ ± 1% |
| R8 | Resistenza 330 kΩ ± 1% |
| R9 | Resistenza 3,3 MΩ ± 1% |
| | (tutte le resistenze da 0,3 Watt) |
| S1 | Commutatore a 2 × 5 vie con manopola e indicatore |
| | Piastrina per l'amplificatore operazionale, 45 × 55 mm incisa e con fori |
| | Piastrina per le resistenze 100 × 170 mm incisa e forata in box P/4 della Teko |

La Foto 7 di Tavola 3 rappresenta un prototipo realizzato con due piastrine universali. Le due piastrine si possono fissare l'una all'altra con delle viti con dado. Le piastrine vengono fornite già incise e perforate.

## 3.4 Raddrizzatore di precisione per strumenti di misura

A chiusura di questo capitolo presentiamo altri due circuiti, non tanto perché gli stessi siano molto importanti per gli amatori, ma semplicemente perché sono delle applicazioni tipiche degli amplificatori operazionali. Con nessun altro componente possono venir realizzati così elegantemente.

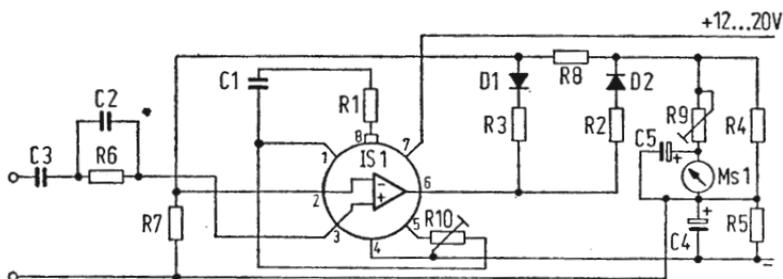



Fig. 3.05. Raddrizzatore di precisione per strumenti di misura di tensioni alternate.

In Fig. 3.05 è rappresentato un raddrizzatore di precisione adatto per strumenti di misura per tensioni alternate. Si tratta di un raddrizzatore di una semionda, che amplifica moltissimo la semionda positiva attraverso la resistenza di controreazione R8 applicata all'ingresso invertito, mentre la semionda negativa viene pressoché soppressa non avendo nessuna reazione. Lo stadio di correzione C2/R6 serve a rendere lineare l'andamento della frequenza fino a circa 10 kHz. Se ad entrambi gli ingressi si applica un partitore di tensione analogo a quello dell'esempio precedente, si ottiene un voltmetro per tensioni alternate con la scala lineare. La forte amplificazione a vuoto dell'amplificatore operazionale compensa completamente la non linearità del diodo raddrizzatore. Con il potenziometro trimmer R10 si esegue il bilanciamento della tensione di zero, con R9 si tara il circuito regolando esattamente l'indicazione dello strumento di misura.

**Lista componenti del raddrizzatore di precisione di Fig. 3.05**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 100 pF |
| C2 | Condensatore 2,2 nF |
| C3 | Condensatore 1 μF |
| C4 | Condensatore con piedini 10 μF/40 V |
| C5 | Condensatore elettrolitico 100 μF/25 V |
| D1, D2 | 2 Diodi universali 1N 4154 o equivalenti |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato in CMOS CA 3130 T |
| Ms1 | Wisometer 65/100 μA |
| R1 | Resistenza 10 Ω |
| R2 | Resistenza 220 Ω |

| | |
|---|---|
| R3 | Resistenza 2,2 kΩ |
| R4, R5 | 2 Resistenze 5,6 kΩ |
| R6 | Resistenza 560 kΩ |
| R7 | Resistenza 820 kΩ |
| R8 | Resistenza 4,7 MΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, tolleranza ± 5%) |
| R9 | Potenziometro con demoltiplica 1/10 da 10 kΩ |
| R10 | Potenziometro trimmer a strato da 100 kΩ |

Poiché l'amplificatore CMOS non è molto pilotabile, le batterie non bastano. Si deve quindi ricorrere o a due batterie da 9 V collegate in serie, o all'alimentatore di Fig. 1.03 od ad un altro alimentatore.

### 3.5 Partitore di tensione elettronico

Voi sapete che da sempre esiste il problema di dimezzare una tensione di alimentazione. Negli esempi precedenti si era usato un partitore ohmico che poteva sopportare la corrente dello strumento indicatore e dell'amplificatore operazionale senza una eccessiva caduta di tensione. Di frequente sono necessarie correnti superiori che non rendono più idoneo il solito partitore di tensione. Un amplificatore operazionale collegato come nel circuito di Fig. 3.06 risolve il problema con poca spesa e con la massima esattezza. La tensione intermedia (zero) è esatta come le resistenze R1 e R2. Se le due resistenze sono uguali e con tolleranza molto bassa, la tensione di zero è esattamente metà della tensione di alimenta-

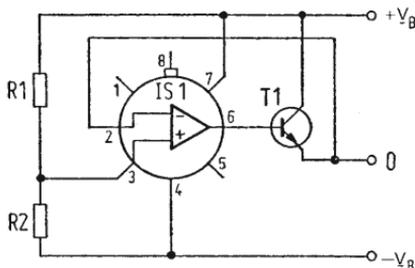



Fig. 3.06. Partitore di tensione elettronico per la generazione di un punto di zero di potenza.

zione, indipendentemente dall'assorbimento. Poiché l'amplificatore operazionale è in grado di fornire solo correnti molto basse (fino a circa 5 mA), si deve completare il circuito con un transistor di potenza. La potenza massima disponibile dipende dal calore che può disperdere il transistor T1, che non dovrebbe comunque superare 1 Watt. Se ad esempio deve essere dimezzata una tensione di 24 V, la corrente assorbita dal carico dovrebbe essere all'incirca di 85 mA.

**Lista componenti del partitore di tensione elettronico di Fig. 3.06**

| | |
|---|---|
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato 741 C |
| R1, R2 | 2 Resistenze da 5,6 kΩ |
| T1 | Transitor di potenza npn 2N 1613 o equivalente |

# 4. Circuiti Hi-Fi

Con Hi-Fi, abbreviazione di High-Fidelity, si intende riproduzione ad alta fedeltà (apparecchiature professionali). Dal punto di vista elettrico ciò significa che la parte amplificatrice deve avere un andamento lineare per tutta l'estensione della frequenza sonora (15 fino a 20 kHz), poca distorsione (basso fattore di distorsione) e grande dinamica (basso rumore). Le prime due condizioni vengono soddisfatte dall'amplificatore operazionale in modo ideale, la terza può essere soddisfatta con dei semplici accorgimenti.

## 4.1 Semplice preamplificatore microfonico

Mentre i circuiti a bassa frequenza con i moderni semiconduttori possono lavorare con frequenze fino a 100 kHz e oltre, verso il basso la frequenza è normalmente limitata per i grossi condensatori necessari per l'accoppiamento. Gli amplificatori operazionali sono invece accoppiati galvanicamente e possono lavorare anche con tensioni continue, ovvero frequenza zero. La linearità al variare della frequenza è inoltre eccezionalmente buona.
La seconda esigenza di un basso fattore di distorsione è soddisfatta, a certe condizioni, molto bene dall'amplificatore operazionale. Gli economici amplificatori universali, senza controreazione hanno un fattore di distorsione del 5-10% ed una amplificazione a vuoto di almeno 20.000. Il fattore di distorsione si riduce proporzionalmente riducendo l'amplificazione. Se ad esempio si riduce l'amplificazione a 1000 il fattore di distorsione scende anche 20 volte, ovvero 0,5%, con amplificazione 100 volte il fattore di distorsione è inferiore allo 0,1% e mediamente arriva al massimo di addirittura lo 0,05%.

La terza condizione del basso rumore si soddisfa procurandosi un tipo a basso rumore, reperibili in tecnica MOS o CMOS che non sono però sempre adatti per circuiti Hi-Fi, non sono molto diffusi e sono comunque molto costosi.
Il problema si può risolvere molto semplicemente collegando un transistor a basso rumore all'ingresso dell'amplificatore operazionale. Amplificatore e transistor universali sono in ogni caso la migliore soluzione per l'amatore.
Cominciamo con un preamplificatore microfonico. Per delle incisioni di solo parlato il rumore di fondo ha un peso marginale, così che il circuito è molto semplice. La Fig. 4.01 rappresenta il circuito composto da solo pochi elementi. Il circuito si può montare su una piastrina sperimentale, su una piastrina con circuito stampato inciso in proprio o su una tavoletta di legno. La Fig. 8 della Tavola 3 indica l'ultimo modo di realizzazione. Il tutto occupa all'incirca lo spazio di due scatole di fiammiferi e funziona nonostante il montaggio un po' primitivo. Con il potenziometro trimmer R5 si può regolare l'amplificazione fra 3,5 e 20 a seconda del tipo di microfono impiegato. Chi vuole una amplificazione superiore la può ottenere aumentando corrispondentemente la resistenza R3. La caduta in frequenza con l'amplificazione a 20 volte col tipo 741 C comincia a 20 kHz. Si possono ottenere amplificazioni anche superiori, il che comporta un taglio delle frequenze più alte, cosa che non è però di molto peso per il solo parlato.
Il circuito può essere realizzato anche sulla piastrina standard già

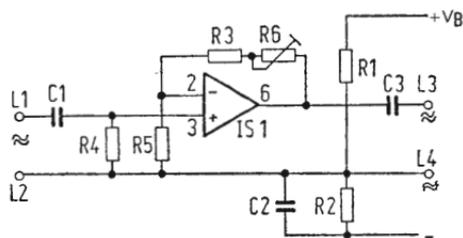



Fig. 4.01. Semplice amplificatore microfonico con amplificazione regolabile e qualità Hi-Fi.

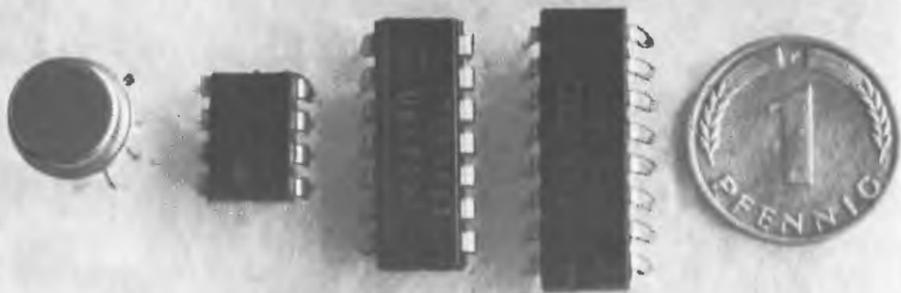



Foto 1 (sopra). Questa foto dà un'idea della grandezza dei circuiti integrati

**Tavola 1**

Foto 2 (mezzo). L'amplificatore operazionale usato in questo manuale, in contenitore metallico, a raffronto con una monetina

Foto 3 (sotto). Dei prototipi con gli amplificatori operazionali possono essere realizzati molto velocemente con delle piastrine con connettori, qui il set della KOSMOS-elektronik

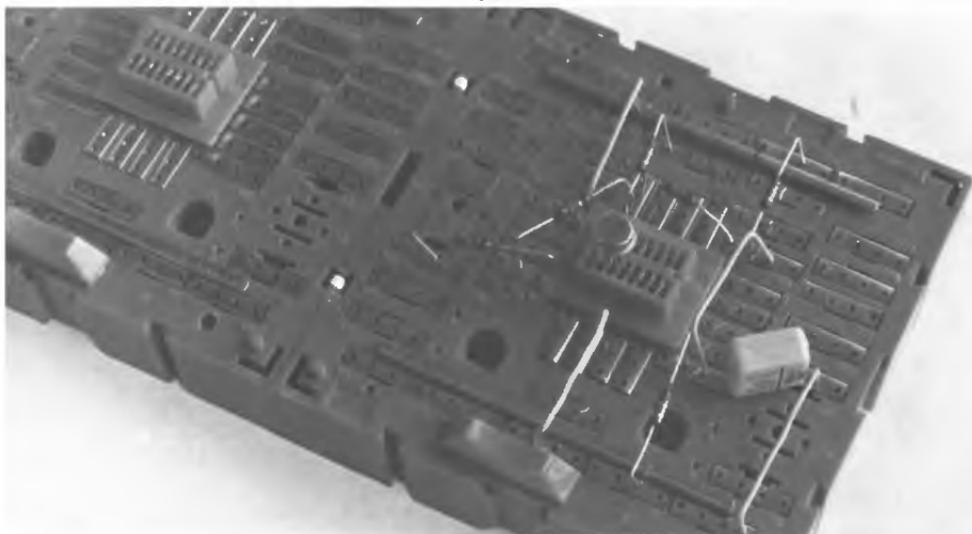
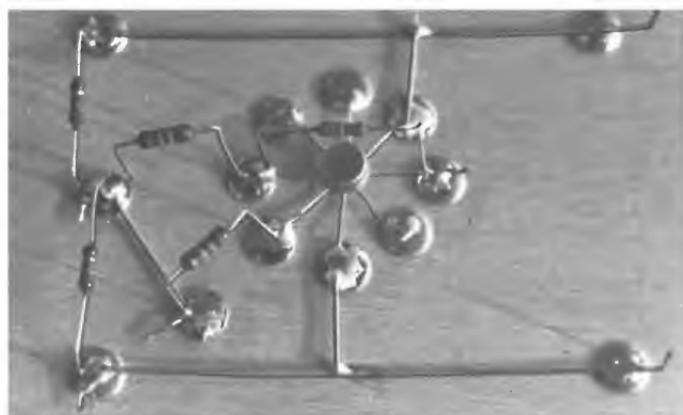



Foto 4. Semplici circuiti co
amplificatori operazionali si pos
sono realizzare anche su dell
tavolette di legno usando dei ribat
tini come punti di saldatura

**Tavola 2**

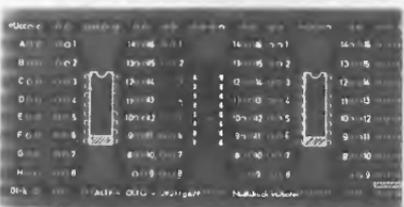
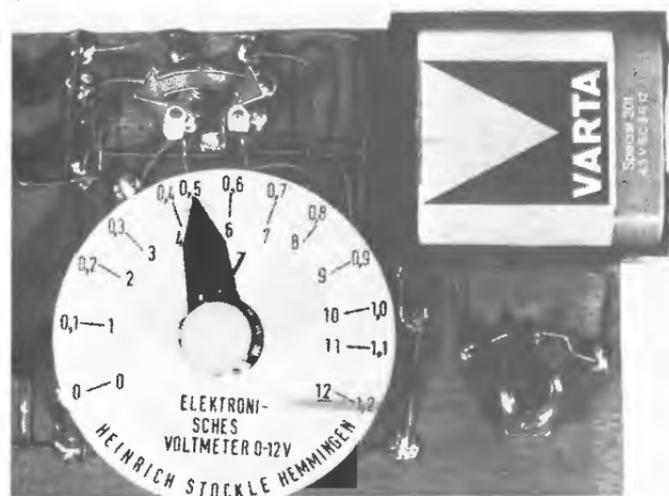



Foto 5. Molto pratiche per la rea
lizzazione di prototipi sono l
piastrine commerciali

Foto 6. Questo voltmetro elettro
nico funziona perfettamente mon
tato su una tavoletta di legno; l
scala e l'indice sono realizzate co
del cartone

menzionata; in questo caso il potenziometro trimmer R5 non può essere montato sulla piastrina. Si deve quindi fissare con R3 l'amplificazione voluta una volta per tutte.
La resistenza d'ingresso del circuito è determinata prevalentemente dalla resistenza R4 e si aggira sui 500 Ω, così che possono essere collegati praticamente quasi tutti i tipi di microfoni.

**Lista dei componenti del preamplificatore microfonico di Fig. 4.01**

| | |
|---|---|
| C1, C2 | 2 Condensatori da 0,1 μF |
| C3 | Condensatore 2,2 μF |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato 741 C in contenitore metallico |
| L1-L4 | 4 Supporti per saldature |
| R1, R2 | 2 Resistenze 5,6 kΩ |
| R3 | Resistenza 150 kΩ |
| R4 | Resistenza 560 kΩ |
| R5 | Resistenza 56 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, tolleranza ± 5%) |
| R6 | Potenziometro trimmer 1 MΩ |

Osservazione: tenere presente che la Fig. 4.01 è lo schema semplificato. Il pin 7 va collegato come sempre al positivo e il 4 al negativo dell'alimentazione. La tensione massima di alimentazione è di 35 V. Essa può essere anche inferiore, in questo caso cala però la possibilità di sovrapilotaggio.

## 4.2 Preamplificatore a basso rumore

Come già accennato gli amplificatori universali di tipo economico non sono particolarmente a basso rumore. Per esigenze particolari va quindi collegato uno stadio preamplificatore a transistor. Inoltre con l'amplificatore operazionale 741 C compensato internamente per la frequenza, l'amplificazione non può essere alzata a piacere senza che la banda di frequenze superiori venga tagliata. Si sceglie perciò un amplificatore con compensazione di frequenza esterna, ed esattamente l'economico ed universale 709 C. Il circuito di Fig. 4.02 va bene per microfoni professionali con segnale a bassa tensione (magentici, dinamici, a lamina e a con-

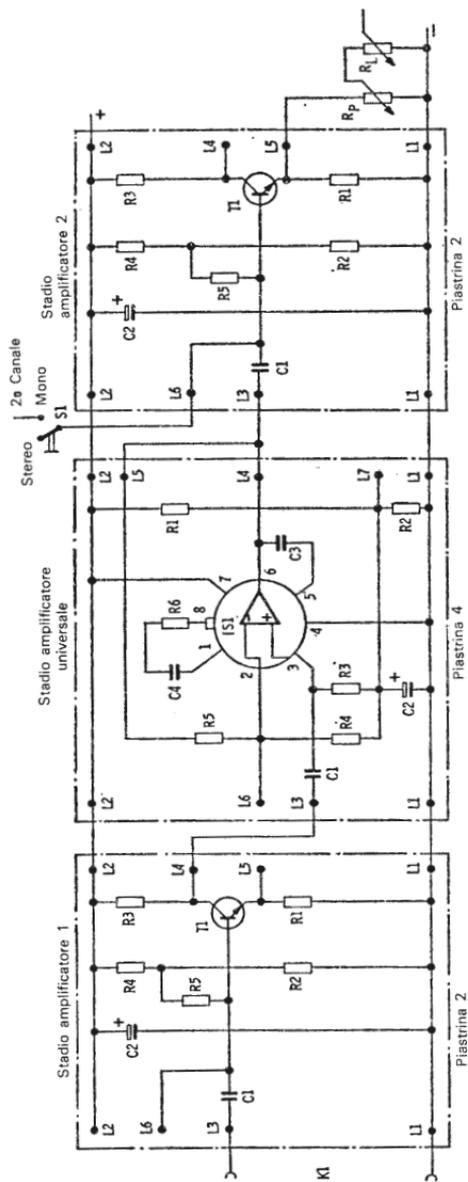



Fig. 4.02. Amplificatore professionale per microfoni stereo realizzato con tre piastrine universali.

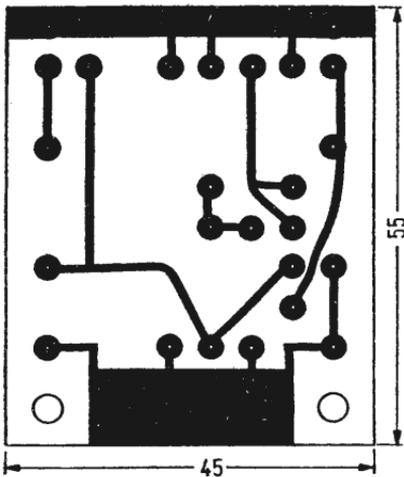



Fig. 4.03. Disegno del circuito stampato di uno stadio amplificatore con un transistor, per applicazioni universali.

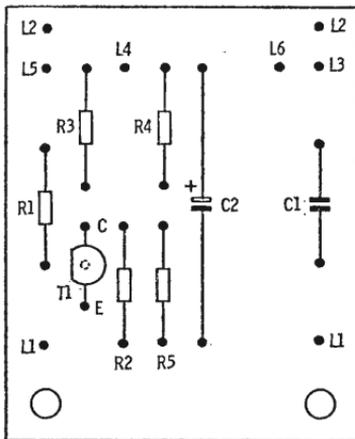



Fig. 4.04. Schema di montaggio per la piastrina di Fig. 4.03.

densatore) fra 0,1 e 1,5 mV. Può inoltre venire collegato il diodo d'uscita di apparecchi radio in particolare di tuner. Questi forniscono una tensione fino a 100 mV. Poiché il circuito può lavorare con un sovrapilotaggio fino a 10 V (con tensione di alimentazione di 34 V), l'amplificazione può essere al massimo 100. Va inoltre notato che la boccola di uscita (per l'amplificatore ausiliario o per il registratore) di cui sono normalmente fornite le apparecchiature radio, che hanno già un loro amplificatore di bassa frequenza, di regola non è collegata al diodo bensì ad uno stadio di bassa frequenza così che la tensione di bassa frequenza supera notevolmente i 5 mV. Per apparecchiature di questo tipo bisogna scegliere un altro circuito, ed esattamente basta un semplice adattatore di impedenza con un transistor.

Nel circuito ci sono tre stadi disegnati oguno in una casella tratteggiata. Ogni casella corrisponde a una piastrina. Anche se i circuiti delle piastrine 1 e 2 differiscono fra loro, può essere usata la stessa piastrina. Il disegno per il circuito stampato delle due

piastrine è quello di Fig. 4.03, lo schema di montaggio quello di Fig. 4.04. Il disegno per il circuito stampato con amplificatore operazionale rimane lo stesso (Fig. 3.03). Ci sono però alcuni componenti in più, così che lo schema di montaggio è diverso (Fig. 4.05).
I circuiti di questo capitolo prevedono una tensione di alimentazione di 34 V, per avere un margine di sicurezza rispetto alla tensione massima di funzionamento degli amplificatori operazionali (36 V). Essa non deve però essere molto inferiore altrimenti si abbassa troppo il sovrapilotaggio possibile. L'alimentatore adatto è trattato più dettagliatamente nell'ultimo paragrafo di questo capitolo.
E torniamo al circuito. Lo stadio di amplificazione 2 è solo un trasformatore di impedenza dove il transistor lavora in un circuito di collettore e non provoca perciò alcuna amplificazione di tensione. All'uscita può venir collegato un potenziometro per il volume $R_L$ o, nel caso che il tutto venga montato in un miscelatore, un potenziometro per il volume e uno per il livello di tipo tandem (per due canali). L'interruttore S1 serve per la commutazione da stereo a mono.

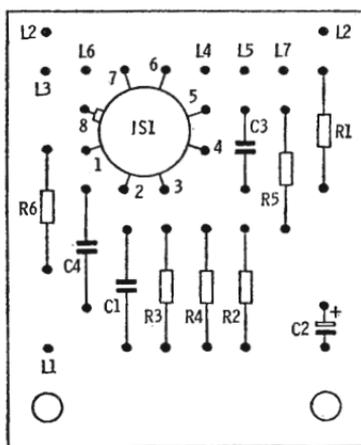



Fig. 4.05. Schema di montaggio dell'amplificatore universale di Fig. 4.02 sulla piastrina di Fig. 3.03.

**Lista dei componenti per il preamplificatore a basso rumore di Fig. 4.02**

**Stadio amplificatore 1**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 μF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 470 μF/40 V |
| L1-L6 | 8 Supporti per saldature |
| R1 | Resistenza 2,7 kΩ |
| R2, R3 | 2 Resistenze 56 kΩ |
| R4 | Resistenza 680 kΩ |
| R5 | Resistenza 56 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, tolleranza ± 5%) |
| T1 | Transistor universale npn a basso rumore BC 414 o equivalente |
| | Piastrina 2,45 mm × 55 mm |

**Amplificatore universale**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 μF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 10 μF/40 V, con connettore |
| C3 | Condensatore 100 pF |
| C4 | Condensatore 470 pF |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato 709 C con contenitore metallico metallico |
| L1-L6 | Supporti per saldature |
| R1, R2 | 2 Resistenze 5,6 kΩ |
| R3 | Resistenza 270 kΩ |
| R4 | Resistenza 56 kΩ |
| R5 | Resistenza 330 kΩ |
| R6 | Resistenza 1,5 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, tolleranza ± 5%) |
| | Piastrina 4, 45 mm × 55 mm |

**Stadio amplificatore 2**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 μF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 470 μF/40 V |
| L1-L6 | Supporti per saldature |
| R1 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R2, R4 | 2 Resistenze 56 kΩ |
| R3 | Resistenza 1,8 kΩ |
| R5 | Resistenza 560 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, tolleranza ± 5%) |
| | Piastrina 2, 45 mm × 55 mm |

**Parti per il pannello di servizio**

| | |
|---|---|
| K1 | $\frac{1}{2}$ Connettore standard a 5 poli |
| $R_L$, $R_L$ | $2\frac{1}{2}$ Potenziometro tandem logaritmico da 10 kΩ |
| S1 | $\frac{1}{2}$ Interruttore unipolare con contatti dorati |

La lista pezzi vale per un canale. Per ogni ulteriore canale i pezzi vanno raddoppiati. Le parti di servizio, manopole ecc. sono in comune per due canali.

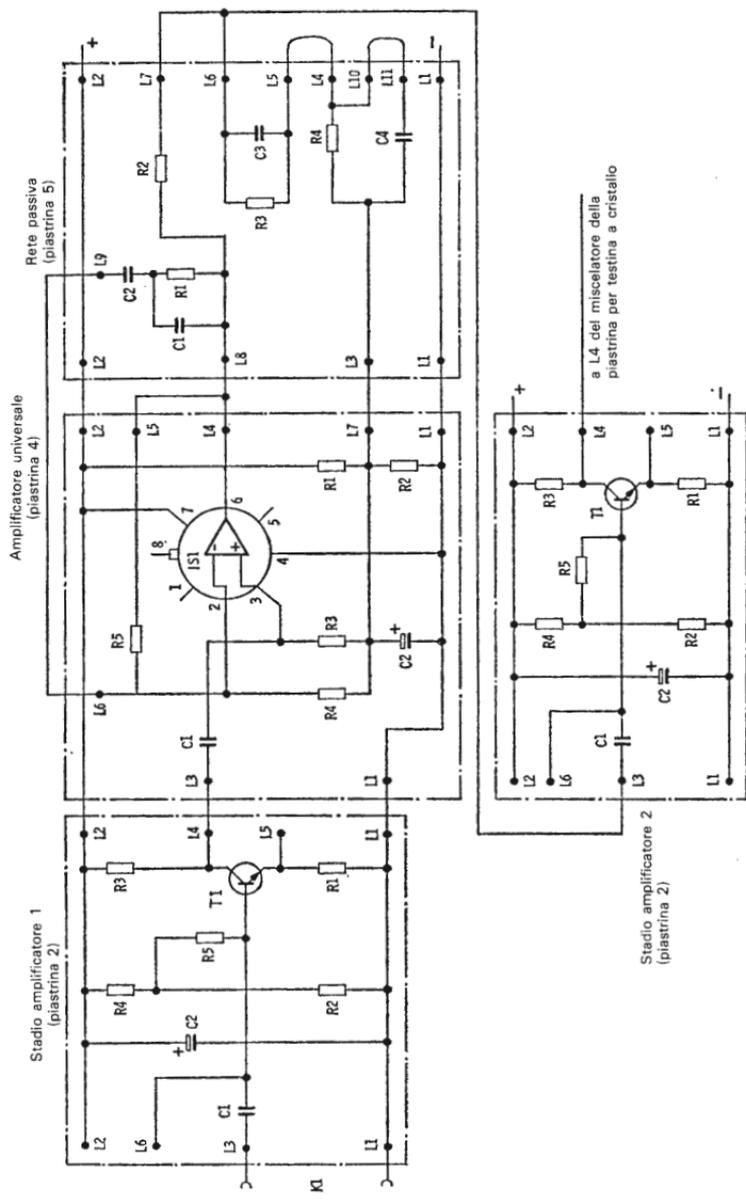



Fig. 4.06. Collegamento dei moduli per un preamplificatore equalizzatore per testine magnetiche e dinamiche (disegno per un canale).

### 4.3 Preamplificatore equalizzatore per registratori

Ogni impianto stereo di un certo livello necessita di un preamplificatore equalizzatore per supporti dinamici e magnetici. La linea di taglio caratteristica dei moderni dischi a 33 giri viene equalizzata artificialmente in fase d'incisione per poter aumentare la densità delle piste o per diminuire il rumore di fondo. In fase di audizione del disco bisogna quindi disporre di un filtro con caratteristiche di frequenza speculari rispetto alla linea di taglio caratteristica. L'andamento della line di taglio caratteristica è standardizzato interzionalmente (RIAA, DIN). Noi vogliamo qui trattare brevemente l'argomento e presentare un circuito che rispetti l'andamento di frequenza richiesto (tolleranza di ± 2 dB). Un preamplificatore di questo tipo deve amplificare molto debolmente le frequenze alte, e al contrario amplificare molto quelle basse, ovvero necessita di elevate riserve di amplificazione. Queste esigenze vengono egregiamente soddisfatte da un amplificatore operazionale.
Il circuito di Fig. 4.06 è costituito analogamente al precedente, in più c'è una piastrina con una rete passiva per la determinazione dell'andamento di frequenza, collegata fra l'amplificatore universale e la piastrina di amplificazione 2 usata come adattatore di impedenza. La rete passiva si compone di due gruppi funzionali distinti, di cui uno (C11, C2, R1 e R5) è collegato in controreazione all'amplificatore operazionale e l'altro (C3, C4, R3, R4) è collegato alla sua uscita. L'ultimo serve solo come correttore, altrimenti non si otterebbe l'andamento di frequenza desiderato. All'uscita può essere collegato un potenziometro ad alta impedenza per la regolazione del volume oppure si può andare ad uno stadio miscelatore dove il segnale viene mescolato con quello di altri ingressi, ad esempio di una puntina in cristallo. L'amplificazione complessiva dell'apparato, riferita a 1 kHz, è di 130. Le massime tensioni che possono arrivare all'ingresso, circa 20 mV, vengono elaborate perfettamente ammesso che la tensione di alimentazione sia di 34 V. Per la tensione nominale di ingresso di 2

mV si ha perciò una tensione nominale di uscita di 270 mV.

**Lista componenti del preamplificatore equalizzatore di Fig. 4.06**

**Stadio amplificatore 1**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 μF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 470 μF/40 V |
| L1-L6 | 6 Supporti per saldature |
| R1 | Resistenza 2,7 kΩ |
| R2, R3 | 2 Resistenze 56 kΩ |
| R4 | Resistenza 680 kΩ |
| R5 | Resistenza 150 kΩ |
| | (resistenza da 0,3 Watt tolleranza ± 5%) |
| T1 | Transistor npn universale a basso rumore BC 414 o equivalenti |
| | Piastrina 2, 45 mm × 55 mm |

**Amplificatore universale**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 μF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 10 μF/40 V con connettore |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato in contenitore metallico 741 C |
| L1-L6 | 6 Supporti per saldature |
| R1, R2 | 2 Resistenze 5,6 kΩ |
| R3 | Resistenza 150 kΩ |
| R4 | Resistenza 150 kΩ |
| R5 | Resistenza 1,2 MΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt tolleranza ± 5%) |
| | Piastrina 4, 45 mm × 55 mm |
| | (i condensatori C3, C4 e la resistenza R6 rappresentati nello schema di montaggio di Fig. 4.05 non ci sono) |

**Rete passiva**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 nF |
| C2 | Condensatore 5,6 nF |
| C3 | Condensatore 0,1 μF |
| C4 | Condensatore 3,3 nF |
| L1-L7 | 9 Supporti per saldature |
| R1 | Resistenza 68 kΩ |
| R2 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R3 | Resistenza 15 kΩ |
| R4 | Resistenza 10 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 W e tolleranza ± 5%) |
| | Piastrina 5, 35 mm × 55 mm |

**Stadio amplificatore 2**

| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore 1 μF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 470 μF/40 V |
| L1-L6 | 8 Supporti per saldature |
| R1 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R2 | Resistenza 15 kΩ |
| R3 | Resistenza 12 kΩ |
| R4 | Resistenza 56 kΩ |

R5 Resistenza 560 kΩ
(resistenze da 0,3 W e tolleranza ± 5%)

T1 Transistor npn universale BC 107, BC 184, BC 414 o equivalenti
Piastrina 2, 45 mm × 55 mm

**Varie**

K1 $\frac{1}{2}$ Spina standard a 5 poli

La lista dei componenti vale per un canale. Per un altro canale occore il doppio dei componenti.
Il disegno per l'incisione e lo schema di montaggio per gli stadi amplificatori e per l'amplificatore universale li conoscete già. Per la rete passiva è necessaria invece una nuova piastrina (disegno dello stampato in Fig. 4.07, schema di montaggio in Fig. 4.08). Tutte le piastrine hanno la stessa larghezza e possono venir montate una a fianco all'altra su un pezzo di legno o di materiale sintetico. A questo scopo la piastrina 2 è provvista di 2 supporti per saldature per il più e il meno dell'alimentazione, così che la stessa può essere passata da una piastrina all'altra con dei cavetti molto corti.

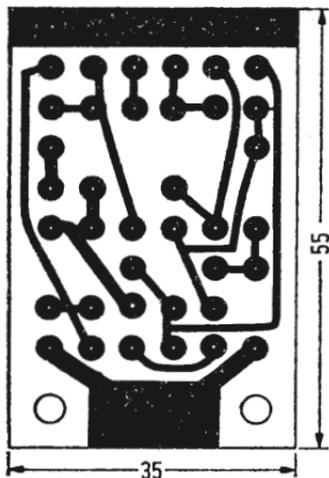



Fig. 4.07. Disegno del circuito stampato della piastrina per rete passiva di uso universale.

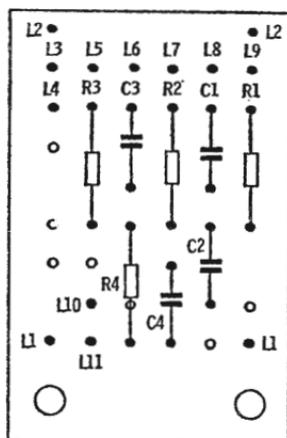



Fig. 4.08. Schema di montaggio della piastrina 5 per rete discriminante di Fig. 4.06.

## 4.4 Altre piastrine per un miscelatore

Può darsi che qualcuno vista la versatilità di questa concezione circuitale desideri realizzare altri circuiti per un miscelatore o per un amplificatore. Purtroppo lo spazio in questo libretto non è sufficiente, poiché il titolo è *Come si lavora con gli amplificatori operazionali* e non *Come si costruisce un miscelatore.* Quest'ultimo titolo è già apparso in questa serie.

Per poter far funzionare i circuiti fin qui presentati sono necessarie alcune piastrine per l'alimentazione. Si tratta di semplici circuiti stabilizzatori che impediscono che la tensione che alimenta l'integrato superi il massimo permesso. I trasformatori, i raddrizzatori e i condensatori di livellamento non sono compresi in queste piastrine e devono perciò essere montati altrove. Nella maggior parte dei casi si utilizza l'alimentazione dell'amplificatore di potenza. La piastrina è per una tensione nominale del trasformatore di 30 V e può alimentare un canale compreso il miscelatore. Il circuito è quello di Fig. 4.09, il disegno del circuito stampato e lo schema di montaggio le Figg. 4.10 e 4.11.

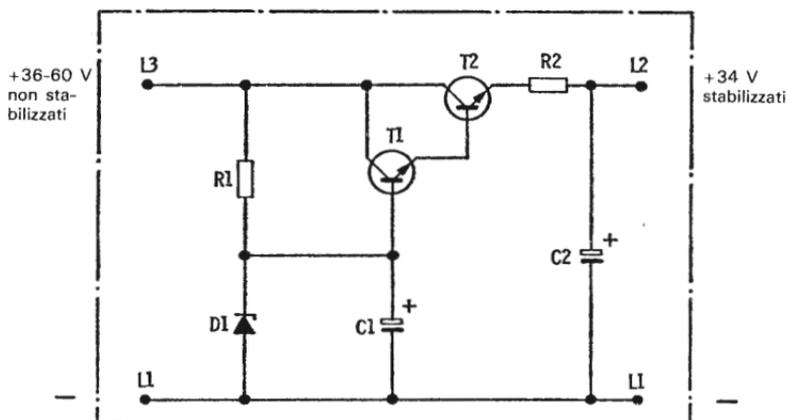



Fig. 4.09. Semplice stabilizzatore di tensione per gli elementi del miscelatore.

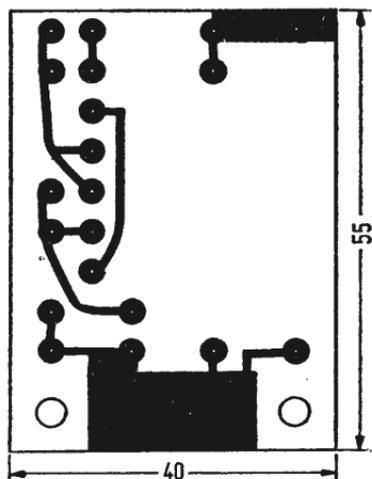



Fig. 4.10. Disegno del circuito stampato per l'alimentatore di Fig. 4.09 (piastrina 1).

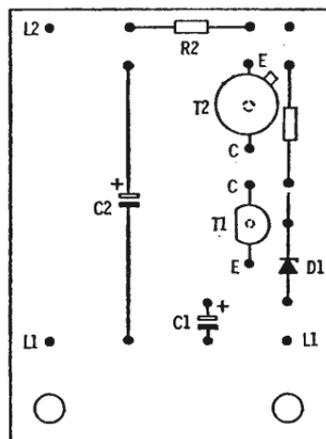



Fig. 4.11. Schema di montaggio della piastrina 1 per l'alimentatore.

**Lista dei componenti per l'alimentatore di Fig. 4.09**

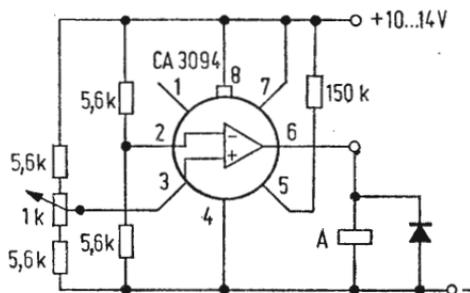
| | |
|---|---|
| C1 | Condensatore elettrolitico 10 µF/63 V, con connettore |
| C2 | Condensatore elettrolitico 1000 µF/40 V |
| D1 | Diodo zener da 36 V |
| L1-L3 | 4 Supporti per saldature |
| R1 | Resistenza 5,6 kΩ/0,3 W |
| R2 | Resistenza 33 Ω/0,3 W |
| T1 | Transistor npn universale BC 107, BC 184, BC 414 o equivalenti |
| T2 | Trantistor npn di potenza 2N 1613 o equivalenti |
| | Piastrina 1, 40 mm × 55 mm |

# 5. Circuiti digitali con amplificatori operazionali

Quando si sente parlare di tecnica digitale si è normalmente portati a pensare ai computer. Nessuna paura, noi vogliamo costruire solo delle semplici e pratiche apparecchiature ! Non è necessaria nessuna serie di impulsi, bensì l'unica differenza rispetto ai circuiti analogici finora visti, è che l'amplificatore operazionale qui viene fatto lavorare in una saturazione o nell'altra, ovvero la tensione di uscita non assume mai valori intermedi.

## 5.1 Relé elettronico

I relé per l'eccitazione richiedono una notevole corrente e una relativamente alta tensione di alimentazione. Essi non sono perciò idonei ad essere pilotati con dei circuiti a semiconduttori. Collegando invece una amplificatore prima del relé, e considerando il tutto insieme si vede che per eccitare il relé stesso sono necessarie solo delle piccole correnti e tensioni per commutare il tutto, ovvero il relé elettronico, da uno stato all'altro.
Affinché il segnale pilota possa essere il più basso possibile, l'amplificatore deve amplificare il più possibile, ed allo scopo si adatta molto bene un amplificatore operazionale. La maggior parte dei tipi ha però una uscita decisamente debole. Si deve perciò ricorrere ad un ulteriore transistor di potenza collegato fra il relé e l'amplificatore operazionale. Questo fatto non è di per sé una grave pecca, ma sarebbe molto meglio se si potesse tralasciare il transistor. Per ottenere ciò si adatta molto bene l'amplificatore operazionale programmabile CA 3094. Della programmabilità non viene fatto nessun uso nelle nostre applicazioni, né vogliamo approfondire di più l'argomento; quello che è invece interessante è

Fig. 5.01. Relé elettronico con amplificatore operazionale di potenza.

la sua corrente di uscita che può arrivare fino a 100 mA, ed è quindi molto adatta per pilotare direttamente un relé finché questo è del tipo ad alta resistenza (con tensione di funzionamento di 12 V almeno 85 Ω), cosa normale per i tipi da montare su schedine. La Fig. 5.01 rappresenta il circuito dell'amplificatore operazionale alla cui uscita 6 è collegato il relé con un diodo di protezione. L'altra uscita 8 è interdipendente con il suo particolare circuito interno e viene collegata direttamente al positivo. L'ingresso 5 è previsto per la programmazione. Il pilotaggio in questo circuito è previsto con un potenziometro. In realtà al suo posto si usa un sensore di qualche tipo come un fototransistor un termostato o qualcosa del genere. Nei circuiti seguenti verranno fatte delle applicazioni del genere.

**Lista dei componenti per il relé elettronico di Fig. 5.01**

1 Relé per circuito stampato, con contatti di potenza, tensione di alimentazione 12 V, resistenza della bobina 200 M
1 Diodo universale 1N 4154 o equivalente
4 Resistenze 5,6 kΩ/0,3 Watt
1 Resistenza 150 kΩ/0,3 Watt
1 Potenziometro con manopola da 1 kΩ
1 Amplificatore operazionale integrale CA 3094 con contenitore metallico

Per l'alimentazione è adatto l'alimentatore di Fig. 1.04. Il circuito è adatto per tensioni non stabilizzate. Nel caso sia disponibile una tensione stabilizzata, si consiglia di collegare al positivo tutti i piedini liberi, con esclusione del piedino 8 che va collegato alla tensione non stabilizzata.

## 5.2 Interruttore per party

Durante un party ha molto effetto accendere e spegnere la luce con una battuta di mani. Trattiamo dapprima un interruttore acustico, come in Fig. 5.02, che lavora come monoflop. Con un rumore sufficientemente alto, l'apparecchiatura va in funzione, e vi rimane per un tempo definito e regolabile dall'esterno, tornando quindi alla condizione iniziale. Si può dire ai propri ospiti, che qualora desiderino baciare la loro ragazza al buio, basta battere le mani un paio di colpi, e la luce si spegnerà per un bel po'.
Come microfono si usa un microfono a carbone che fornisce la massima tensione. Per maggior semplicità si può prendere la capsula microfonica del telefono di casa che lavora con una tensione di 6 V. La tensione alternata arriva all'ingresso non invertito dell'amplificatore operazionale, che lavora senza controreazione e viene regolato in modo tale che si trovi in saturazione negativa. Affinché l'amplificatore venga pilotato anche da bassi segnali, viene usato un amplificatore CMOS che ha una amplificazione a vuoto notevolmente superiore a quella dei tipi universali. L'apparecchiatura è così sensibile che scatta senza problemi battendo le mani ad una distanza di 5 metri.
Per raggiungere questa sensibilità, bisogna regolare l'amplificatore immediatamente prima del punto di commutazione. Per controllo

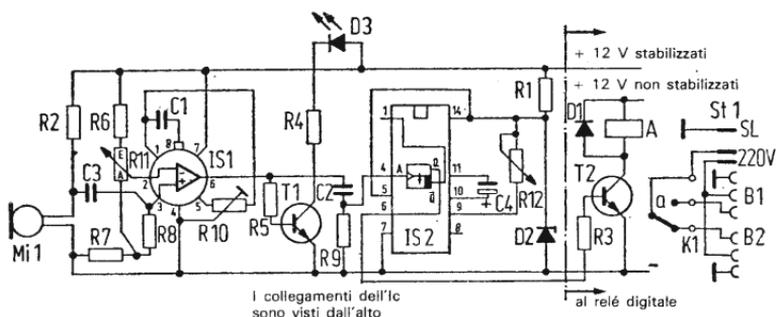



Fig. 5.02. Questo interruttore acustico con il tempo del monoflop regolabile è un simpatico giocattolo per party.

serve un diodo luminoso D3 con un transistor come amplificatore. Si gira R11 tutto a sinistra e si regola R10 in modo che D3 si accenda. La massima sensibilità si ottiene quando, girando R11 a destra, D3 si spegne. Poiché l'interruttore in questa posizione è troppo sensibile, già la musica lo farebbe scattare, girando ancora avanti R11 si può abbassare a piacere la sensibilità.
Il tempo di funzionamento si può regolare fra 1 e 25 secondi col potenziometro R12. Come temporizzatore si usa un integrato a 14 piedini. Chi vuole avere altri tempi li può scegliere variando C3 o R12. R12 non deve però superare i 40 kΩ. Poiché il monoflop ha una tensione di funzionamento di 5 V, è necessario anche un diodo Zener. L'uscita del monoflop pilota un transistor che a sua volta comanda il relé.
Il relé ha un contatto di potenza che toglie e dà tensione a due prese. L'altro polo, B1 e B2, delle due prese viene collegato direttamente alla rete. Non dimenticate di collegare il contatto di terra St1 con il cavo di terra SL. Con le due prese si ha la possibilità di accendere e spegnere alternativamente due gruppi di lampade. Il tutto è montato in un contenitore in materiale sintetico della TEKO, dove i potenziometri, il microfono, il diodo luminoso e gli interruttori di rete sono montati sul pannello frontale, mentre le due prese sono montate sul retro del contenitore. Poiché le prese occupano molto spazio, esse sono montate sul retro di un secondo contenitore fissato al primo. La foto di Fig. 12 della Tavola 4 rappresenta l'apparecchiatura terminata. I componenti elettrici possono essere montati su una basetta di legno o su una piastrina sperimentale fissata poi con un angolo al fianco del contenitore.
Nello schema è riportata una linea tratteggiata il cui significato verrà spiegato nel prossimo paragrafo.

**Lista componenti dell'interruttore per party di Fig. 5.02**

| | |
|---|---|
| A | Relé per circuito stampato con contatto di potenza, tensione di funzionamento di 12 V |
| B1, B2 | 2 Prese da incasso |
| C1 | Condensatore 100 pF |
| C2, C3 | 2 Condensatori 0,1 μF |

| | |
|---|---|
| C4 | Condensatore elettrolitico 100 μF/16 V |
| D1 | Diodo universale 1N 4154 o equivalente |
| D2 | Diodo zener 5,1 V |
| D3 | Diodo luminoso di qualsiasi tipo |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato CA 3130 T |
| IS2 | Monoflop integrato 74.121 |
| K1 | Connettore a tre poli |
| Mi1 | Capsula microfonica a carbone da 6 V |
| R1 | Resistenza 270 Ω |
| R2, R3 | 2 Resistenze da 1,5 kΩ |
| R4 | Resistenza 2,7 kΩ |
| R5 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R6-R9 | 4 Resistenze 56 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 W, tolleranza ± 5%) |
| R10 | Potenziometro trimmer 100 kΩ |
| R11, R12 | 2 Potenziometri 25 kΩ con manopola e freccia indicatrice |
| St1 | Cavo di rete con spina |
| T1 | Transistor universale npn BC 107, BC 184 o equivalente |
| T2 | Transistor di potenza npn 2N 1613 o equivalente |
| | 2 contenitori in mateiale sintetico TEKO P/4 |

## 5.3 Interruttore ad applausi

Al contrario del precedente questo interruttore cambia il suo stato con dei forti rumori, senza però ritornare automaticamente allo stato iniziale. Esso ha un funzionamento a memoria, ovvero lavora con un flip-flop (multivibratore bistabile). Questa proprietà è ottenuta inserendo, nel circuito precedente, fra monoflop e transistor finale, un flip-flop. Si tagli lo schema di Fig. 5.02 sulla linea tratteggiata e gli si aggiunga lo schema di Fig. 5.03 di pag. 53. Il circuito finale e il relé, per rendere più comprensibile il circuito sono stati disegnati nuovamente, ma non compaiono nella lista dei componenti.

Chi vuole un interruttore ad applausi non necessita in linea di principio di nessun monoflop. In pratica è però necessario, altrimenti, a causa delle molte oscillazioni, ogni rumore farebbe scattare il flip-flop. Non si avrebbe perciò nessuna posizione definita. Per questo motivo il monoflop fa di una serie di brevi impulsi, un unico lungo impulso. A questo punto il potenziometro R12 non è più necessario. Poiché tutto il resto deve rimanere, noi lo mante-

Foto 7. Le due piastrine del volt - metro ad alta resistenza; la piastrina amplificatrice può essere fissata alla piastrina delle resistenze con delle viti autofilettanti

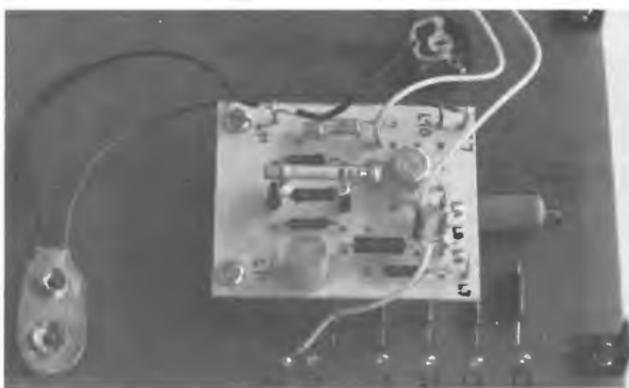



**Tavola 3**

Foto 8. Nonostante il primitivo montaggio su una basetta di legno, questo semplice amplificatore microfonico risponde ad autentiche esigenze di Hi-Fi

Foto 9 (sotto). Le piastrine per i moduli Hi-Fi possono venire fissate assieme su una assicella una vicina all'altra formando così un unico gruppo

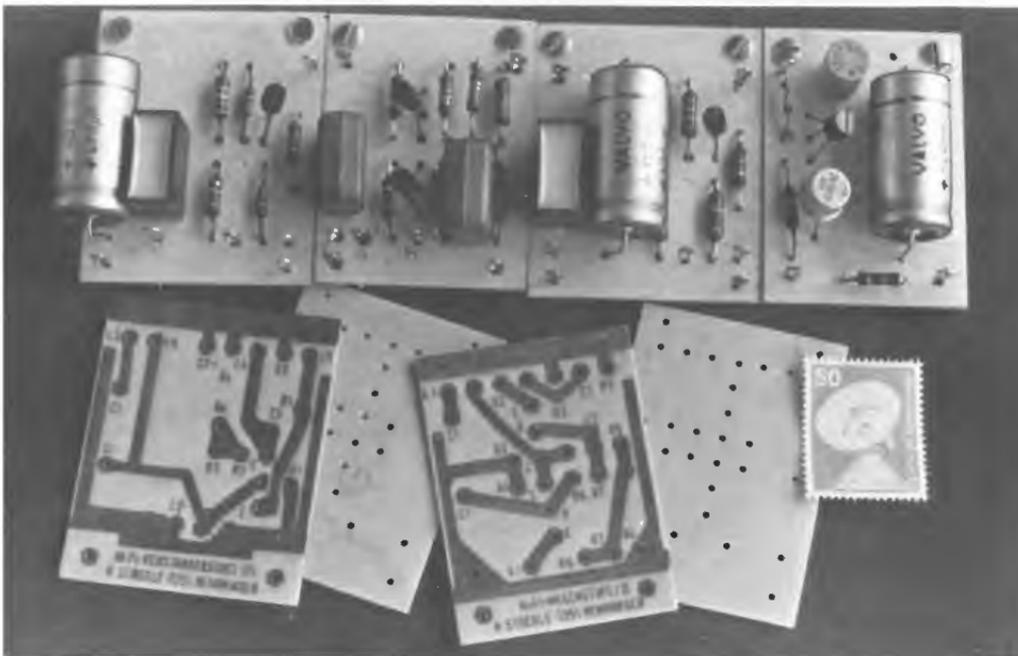
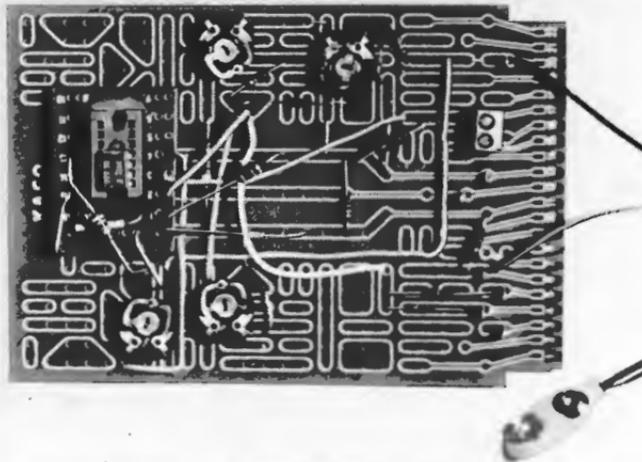



Foto 10. Una piastrina ritagliat
da una piastrina per circuit
integrati viene usata come modul
con amplificatore operazional
montato sulla piastra madre de
termometro elettronico

Foto 11 (sotto). Interruttore a
fascio ottico realizzato su una
piastrina sperimentale; per facilità
di sperimentazione, i due fototran-
sistori in basso a sinistra possono
venire collegati alla piastrina con
del cavetto flessibile

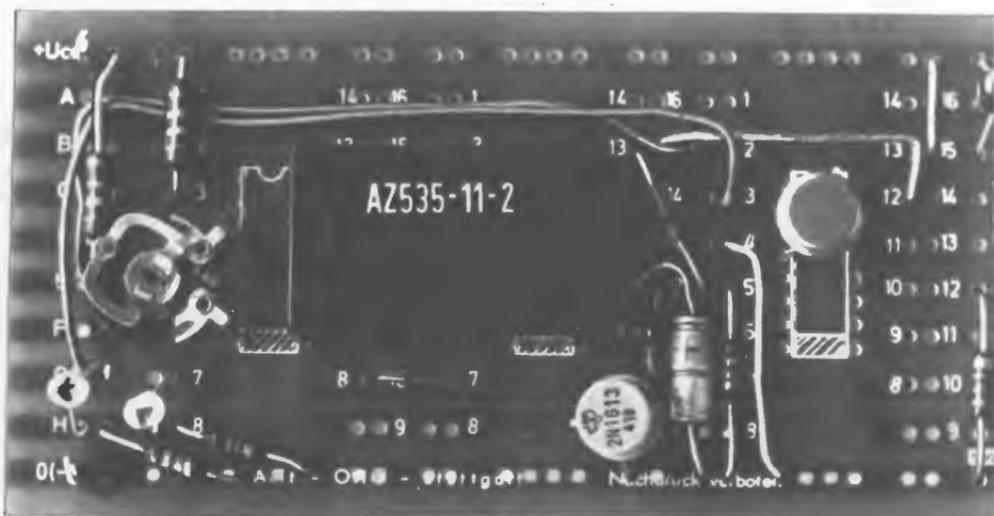



**Tavola 4**

Foto 12. L'interruttore ad
applausi si può alloggiare in un
contenitore in materiale sintetico

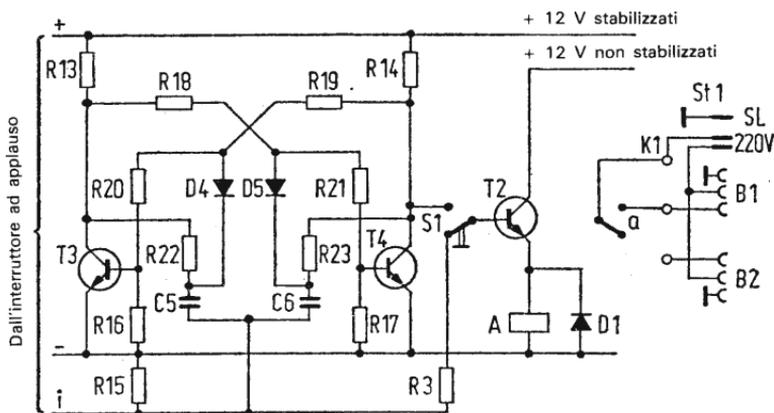



Fig. 5.03. Con l'ampliamento digitale l'interruttore ad applausi può essere usato per accendere e spegnere gruppi di lampadine.

niamo aggiungendo un commutatore in modo che l'apparecchiatura possa funzionare da interruttore ad applausi o da interruttore per party.

**Lista componenti per l'ampliamento digitale di Fig. 5.03**

| | |
|---|---|
| C5, C6 | 2 Condensatori 10 nF |
| D4, D5 | 2 diodi universali 1N 4154 o equivalente |
| R13, R14 | 2 Resistenze 5,6 kΩ |
| R15-R17 | 3 Resistenze 15 kΩ |
| R18-R23 | 6 Resistenze 56 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 W, tolleranza ± 5%) |
| S1 | Interruttore unipolare con contatti dorati |
| T1, T2 | 2 Transistor universali npn BC 107, BC 184 o equivalenti |

## 5.4 Termostato

Per pilotare un amplificatore operazionale usato come interruttore, al posto di un sensore acustico si può usare anche un sensore termico ottenendo così un termometro molto preciso come in Fig. 5.04. Poiché un termistore varia di molto le sue caratteristiche in dipendenza della temperatura, basta una minima variazione della

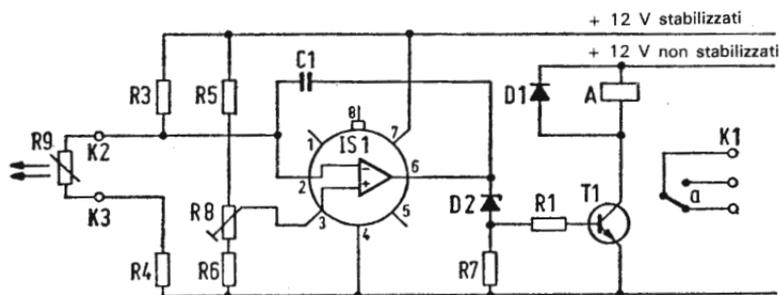



Fig. 5.04. Un amplificatore operazionale senza controreazione con un sensore termico e si ottiene un preciso termostato.

stessa per portare l'amplificatore operazionale da un stato di saturazione all'altro. Una commutazione per ogni decimo di grado è ottenibile senza difficoltà. La temperatura di commutazione si può regolare con il potenziometro trimmer R7. Al posto di questo si può usare anche un normale potenziometro, disegnargli una scala e regolare quindi a piacere la temperatura di commutazione. Il contatto di potenza del relé può accendere/spegnere un apparecchio alimentato dalla rete come un ventilatore o il riscaldamento di un acquario.

**Lista componenti del termostato di Fig. 5.04**

| | |
|---|---|
| A | Relé con piedini per circuito stampato, tensione di alimentazione 12 V |
| C1 | Condensatore 10 nF |
| D1 | D1 diodo universale 1N 4154 o equivalente |
| D2 | Diodo zener 2,7 V |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato 741 C con contenitore metallico |
| K1 | Connettore a tre poli |
| K4, K5 | 2 Boccole isolate Bil 30 |
| R1 | Resistenza 1,5 kΩ |
| R2-R7 | 6 Resistenze 5,6 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 W, tolleranza ± 5%) |
| R8 | Potenziometro trimmer 10 kΩ |
| R9 | Termoelemento miniatura 3,3 kΩ |
| T1 | Transistor di potenza npn 2N 1613 o equivalente |

Il circuito può essere montato su una piastrina sperimentale. Il termoelemento viene collegato con cavetto flessibile alle due boccole, in modo che si possa sperimentare con facilità. Se però si deve misurare la temperatura di liquidi, come acqua, se il termoelemento non è isolato, i due cavetti sono un cortocircuito. Si deve cioè far sì che venga a contatto del liquido solo il termoelemento, isolando il resto con delle calze isolanti e agli estremi con della colla apposita.

# 6. Applicazioni domestiche dell'elettronica

Negli esempi di circuiti finora trattati, si è fatta la suddivisione fra anlogico e digitale. Per il dilettante la cosa che sta in primo piano è però l'utilizzabilità. Per questo motivo in questo capitolo vengono presentati altri circuiti che rendono più comoda, grazie a soluzioni elettroniche, la vita quotidiana.

## 6.1 Termometro elettronico

Al precedente circuito con un sensore termico, segue una applicazione analoga, un termometro elettronico. Per escursioni termiche molto piccole, come la temperatura ambiente, si può usare senz'altro il circuito precedente con un termoelemento controreazionandolo e usando uno strumento indicatore al posto del transistor finale. Per temperature superiori i termoresistori non sono però adatti. Con un termoelemento si possono eseguire molte interessanti esperienze con oggetti comuni molto caldi o che bruciano. Sapete, ad esempio che temperatura può raggiungere una sigaretta o un fiammifero? Provatelo. Un termoelemento lo rende possibile. Per misurare la temperatura di sorgenti così deboli è comunque necessario un termoelemento con dei conduttori molto sottili. Le seguenti note costruttive partono dal presupposto di una termocoppia al nichel-cromo da 0,2 mm × 300 mm. Con questa termocoppia si possono misurare termperature fino a 1300 °C.
Con i termoelementi si devono comunque osservare alcune particolarità. Essi non sono completamente lineari. Questo fatto non è comunque di molto peso giacché si può sempre disegnare una scala che tenga conto di questo ed inoltre l'errore di indicazione dello strumento è da solo dello ± 2,5%.

Le tabelle seguenti danno esatte informazioni in merito.

**Dipendenza della tensione dalla differenza di temperatura di una termocoppia al nichel-cromo-nichel (basse temperature)**

*Tabella 1*

| Differenza di temperatura °C | Tensione termica mV | Scostamento % |
|---|---|---|
| 10 | 0,40 | –2,5 |
| 20 | 0,80 | –2,5 |
| 30 | 1,20 | –2,5 |
| 40 | 1,61 | –1,9 |
| 50 | 2,02 | –1,5 |
| 60 | 2,43 | –1,1 |
| 70 | 2,85 | –0,7 |
| 80 | 3,26 | –0,6 |
| 90 | 3,68 | –0,1 |
| 100 | 4,10 | ±0,0 |

**Dipendenza della tensione dalla differenza di temperatura di una termocoppia al nichel-cromo-nichel (alte temperature)**

*Tabella 2*

| Differenza di temperatura °C | Tensione termica mV | Scostamento % |
|---|---|---|
| 0 | 0 | ±0,0 |
| 10 | 0,40 | –2,5 |
| 100 | 4,10 | ±0,0 |

*Tabella 2* (cont.)

| Differenza di temperatura °C | Tensione termica mV | Scostamento % |
|---|---|---|
| 200 | 8,13 | –0,86 |
| 300 | 12,21 | –0,75 |
| 400 | 16,40 | ±0,0 |
| 500 | 20,65 | +0,73 |
| 600 | 24,91 | +1,24 |
| 700 | 29,14 | +1,24 |
| 800 | 33,30 | +1,50 |
| 900 | 37,36 | +1,28 |
| 1000 | 41,31 | +0,75 |
| 1100 | 45,16 | +0,10 |
| 1200 | 48,89 | –0,61 |
| 1300 | 52,46 | –0,41 |

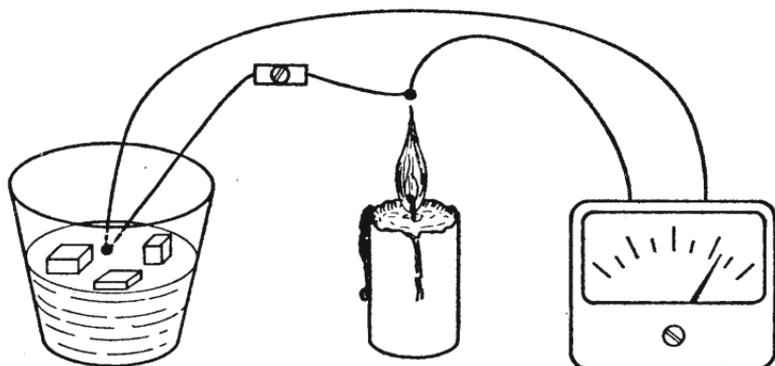



Fig. 6.01. Per compensare la temperatura ambiente, usando delle termocoppie, si usa una seconda termocoppia collegata in serie alla prima ed immersa in acqua fredda.

Con i termoelementi bisogna inoltre tener presente che essi non regiscono alla temperatura, bensì alla differenza di temperatura ed esattamente alla differenza di temperatura fra la giunzione e i terminali dei cavetti. Misurando delle temperature molto alte, come quella di una fiamma, un errore di circa 20 °C, dovuto alla temperatura ambiente non ha alcuna importanza.
Se si vogliono invece misurare delle temperature più basse, si collegano in serie due termocoppie, come indicato in Fig. 6.01, immergendone una in acqua fredda.
Il circuito di Fig. 6.02 fa uso di un amplificatore di precisione (per strumenti) nella sua versione più economica a otto piedini. Questo amplificatore ha una deriva particolarmente bassa, una bassa tensione a vuoto e buone caratteristiche elettriche. Questo è necessario poiché la tensione fornita dall'elemento termico è molto bassa ed un minimo errore dell'amplificatore falserebbe ulteriormente la misura.

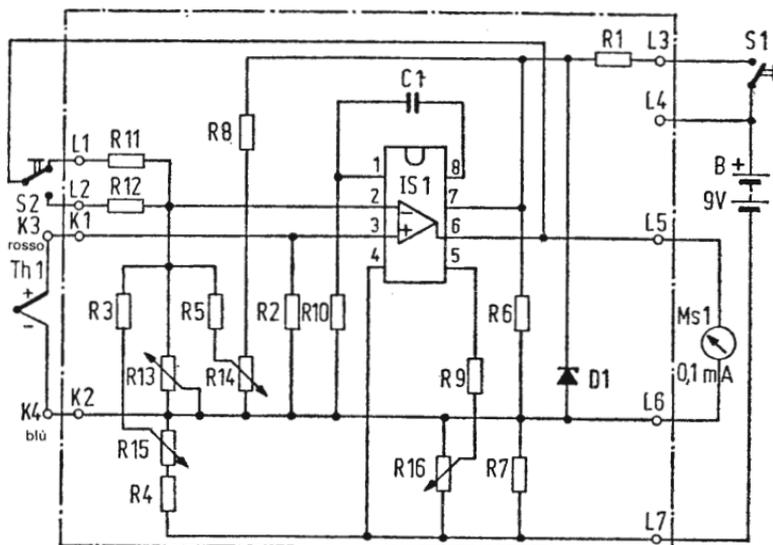



Fig. 6.02. Per poter misurare piccole tensioni termiche è necessario un amplificatore termico con bassa deriva per mantenere basso l'errore; questo circuito fa uso di un amplificatore per strumenti.

Il sensore termico viene collegato all'ingresso non invertito 3 dell'amplificatore. La resistenza trimmer R16 serve per compensare la tensione a vuoto, il condensatore C1 per compensazione di frequenza. All'ingresso invertito 2 dell'amplificatore operazionale c'è una rete di controreazione con una serie di resistenze per due campi di misura della temperatura ed un potenziometro trimmer per la regolazione dello zero e dell'amplificazione. Con l'interruttore S2 si può scegliere il campo di misura 0-130 °C o 0-1300 °C.

**Lista componenti per il termometro elettronico di Fig. 6.02**

| | |
|---|---|
| B1 | Batterie per transistor con clips di collegamento |
| C1 | Condensatore 5,6 pF |
| D1 | Diodo zener 5,6 V, ZDP 5,6 o equivalente |
| IS1 | Amplificatore operazionale 777 C in contenitore mini-DIP |
| K1, K2 | 2 Supporti per circuito stampato |
| K3, K4 | 2 Boccole di collegamento Pki 10a, rossa e blu |
| L1-L7 | 7 Supporti per saldature |
| Ms1 | Strumento di misura 100 μA, Wisometer 65/100 μA o equivalente |
| R1 | Resistenza 560 Ω |
| R2 | Resistenza 1,2 kΩ |
| R3-R7 | 5 Resistenze 5,6 kΩ |
| R8 | Resistenza 150 kΩ |
| R9 | Resistenza 4,7 MΩ |
| R10 | Resistenza 10 MΩ |
| | (resistenze da 1/4 Watt, tolleranza ±5%) |
| R11 | Resistenza 1 kΩ, ± 1%, 1/4 Watt |
| R12 | Resistenza 10 kΩ ± 1%, 1/4 Watt |
| R13 | Potenziometro trimmer a strato 5 kΩ |
| R14-R16 | 3 Potenziometri trimmer a strato 10 kΩ |
| S1 | Interruttore unipolare |
| S2 | Interruttore unipolare con contatti dorati |
| | Termoelemento NiCro-Ni 0,2 mm × 300 mm |
| | Piastrina sperimentale KAKO Nr. 4 |
| | Aletta di fissaggio con viti e dadi |
| | Supporto per l'amplificatore operazionale |
| | Piastrina sperimentale per contenitore DIL |
| | Contenitore con pannello frontale in alluminio |

Il circuito si realizza nel modo più semplice su una piastrina sperimentale. Non c'è comunque nessuna piastrina che possa alloggiare contemporaneamente contenitore DIL ed elementi passivi, in modo particolare i potenziometri trimmer. Si monta perciò l'amplificatore operazionale su una piastrina più piccola e questa a sua volta su una piastrina KAKO Nr. 4, che funge quindi da

piastrina madre. La Fig. 10 della Tavola 4 dà un'idea di come viene costruito. Il cablaggio va iniziato solo quando tutti i potenziometri trimmer sono al loro posto.
Quando la piastrina è terminata si collegano in modo provvisorio lo strumento indicatore, le batterie e la termocoppia. Si esegue quindi sull'amplificatore operazionale un ponte fra i piedini 2 e 3. Si regola quindi R16 finché lo strumento indica esattamente zero. Si toglie il cortocircuito fra i piedini 2 e 3. Si può quindi tarare lo strumento con il potenziometro R15 prendendo come campione la temperatura ambiente, ovvero se questa è di 22 °C girando il potenziometro finché lo strumento indica anche 22 °C.
Innanzitutto bisogna tarare il fondo scala ed esattamente con R14 (regolazione grossolana) e R13 (regolazione fine). Poiché i potenziamenti si influenzano a vicenda, va ritoccato anche R15.
La taratura del fondo scala purtroppo è una cosa più facile a dirsi che a farsi. Prima di tutto, nel caso si voglia utilizzare completamente lo strumento, bisogna disegnare una nuova scala. Con molta pazienza e con l'attrezzatura adatta, soprattutto un pennino molto fine, si disegnano le divisioni ripartendo la scala in 13 parti uguali. Se si vuol eseguire la taratura del fondo scala usando come campione la temperatura dell'acqua bollente, ovvero la prima divisione 100 °C, la taratura non sarà molto esatta. Si consiglia quindi di usare come riferimento anche il punto di ebollizione di altri liquidi. Qui vi riportiamo alcuni esempi: olio di trementina 160 °C, glicolo etilico 197, 2 °C, glicerina assente da acqua 290 °C, olio di ravizzone 300 °C.
La fiamma di una candela purtroppo non può fare assolutamente da campione poiché la temperatura della fiamma varia molto da punto a punto. Questo fatto lo potrete constatare molto facilmente da soli.

## 6.2 Comandi a fascio ottico

Con i fasci ottici, nell'ambito domestico, si possono comandare le

cose più svariate come porte, pompe per l'acqua e naturalmente interruttori per la luce. Per comandare una cosa qualsiasi deve esistere già un motore e una valvola magnetica o un teleruttore. Montare dei motori o delle valvole magnetiche è molto difficile e costoso. L'impianto elettrico si può comunque modificare senza eccessive difficoltà. Normalmente una lampada o un gruppo di lampade comandabili da 2 o più punti lo sono attraverso un relé. In questo caso con un fascio ottico si può evitare la noiosa ricerca di un interruttore al buio.

Naturalmente si possono trovare anche altre applicazioni. Si può accendere automaticamente l'illuminazione del giardino o dell'acquario. In questo modo si può comandare anche il portone del garage, e questo metodo un po' antiquato ed in disuso (perché non sicuro contro furti) non è tuttavia da scartare del tutto. Come minimo si può fare in modo da non dover più scendere dall'auto ogni volta che si deve aprire o chiudere il portone. Quando la macchina non c'è, la chiusura non è naturalmente un antifurto, d'altronde se l'auto non c'è, non rimane neanche molto da rubare, o se invece c'è si può sempre chiudere dopo esser usciti.

Il circuito di Fig. 6.03 lavora anche con un amplificatore operazionale, un transistor e un relé all'uscita. A ogni ingresso è collegato un sensore ottico. L'amplificatore operazionale non reagisce perciò alla illuminazione o oscuramento, bensì alla differenza di luce che colpisce i due fototransistori. In questo modo si può com-

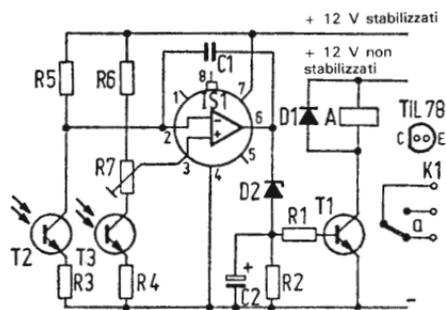



Fig. 6.03. Circuito di un sensore a fascio ottico differenziale; il secondo fototransistor serve per compensare la luminosità dell'ambiente.

pensare molto facilmente la luce ambientale. Indipendentemente dal fatto che ci sia il sole o che sia buio, il circuito scatta solo quando viene interrotto il fascio di luce generato da una piccola lampadina (non disegnata nello schema) e che focalizzata va a colpire uno dei due fototransistori. A seconda se per questo si sceglie T3 o T4 e da come si regola R8, l'amplificatore operazionale scatta da uno stato di saturazione all'altro.
Invece di illuminare un fototransistor si può oscurare l'altro ad esempio con del fumo di sigaretta. Un'altra possibilità è quella di riflettere il fascio. È veramente scomodo dover rompere la parete in due punti per montare da una parte il trasmettitore (lampadina) e dall'altra il ricevitore (foto transistor). Si possono perciò montare trasmettitore e ricevitore insieme su una parete e riflettere poi con un piccolo specchio, sulla parete opposta, il fascio sul ricevitore.
I due condensatori C1 e C2 servono ad impedire una vibrazione del relé. In prossimità del punto di commutazione, l'amplificatore operazionale non sa che fare in particolar modo quando qualcosa rende incostante il comando, come ad esempio del fumo di sigaretta. I condensatori ritardano un po' il comando al relé in modo che lo stesso non vibri più, bensì venga attirato definitivamente. Anche qui un monoflop sarebbe una interessante aggiunta.
La Foto di Fig. 11 della Tavola 4 mostra un prototipo montato. A sinistra si notano i due fototransistori. Naturalmente si può montare il tutto anche su una piastrina in un piccolo contenitore collegando i due fototransistori con del cavetto flessibile e connettori. Tutto è lasciato alla vostra fantasia!

**Lista componenti del comando a fascio luminoso di Fig. 6.03**

| | |
|---|---|
| A | Relé con piedini per circuito stampato con contatto di potenza, tensione 12 V |
| C1 | Condensatore 10 nF |
| C2 | Condensatore elettrolitico 10 μF/25 V |
| D1 | Diodo universale 1N 4154 o equivalente |
| D2 | Diodo zener 2,7 V |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato 741 C in contenitore metallico |
| K1 | Connettore a 3 poli |
| R1 | Resistenza 1,5 kΩ |

| | |
|---|---|
| R2 | Resistenza 5,6 kΩ |
| R3, R4 | 2 Resistenze 56 kΩ |
| R5, R6 | 2 Resistenze 560 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, ± 5%) |
| R7 | Potenziometro trimmer 100 kΩ |
| T1 | Transistor di potenza npn 2N 1613 o equivalente |
| T2, T3 | 2 Fototransistori TIL 78 o equivalenti |

## 6.3 Sonda per pioggia e umidità

Prima delle ferie si pone sempre il problema di chi baderà ad animali e giardino. Il canarino si può portare da qualche amico, ma il trasporto dei vasi dei fiori non è sempre possibile. L'elettronica può essere in questo caso un valido ausilio.
Il circuito di Fig. 6.04 è composto da un amplificatore operazionale senza controreazione che pilota un relé. Alle due boccole K1 e K2 vengono collegate le due sonde, costituite da due semplici linguette metalliche, che vanno piantate nel terreno. Quando questo è umido esso ha resistenza molto bassa così che all'ingresso 3 dell'amplificatore operazionale arriva un potenziale negativo che pilota l'uscita in saturazione negativa. Appena la terra si secca, essa perde in conduttività elettrica e la sua resistenza aumenta. In questo modo il potenziale diventa più positivo finché ad un certo punto, regolabile con il potenziometro R6, l'amplificatore operazionale va in saturazione positiva e il relé viene eccitato. Si è fatto uso anche qui di un amplificatore opera-

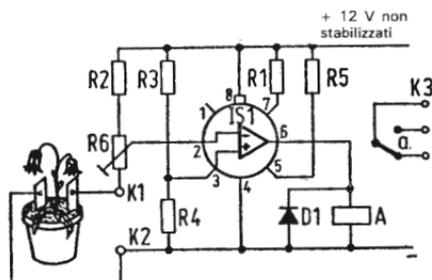



Fig. 6.04. Con un amplificatore operazionale e un relé comandato elettronicamente si può realizzare una sonda d'umidità per annaffiare automaticamente i fiori.

zionale con uscita di potenza in modo da comandare direttamente il relé. Questo mette in moto, attraverso il suo contatto di potenza, una pompa, che può essere quella di un tergicristallo o quella di aspirazione di una lavatrice.
Il circuito può essere montato su una semplice basetta avendo però cura di far sì che non si venga a contatto con la pericolosa tensione di rete e che il cavo di rete venga tenuto teso.

**Lista componenti della sonda d'umidità di Fig. 6.04**

| | |
|---|---|
| A | Relé con piedini per circuito stampato, con contatto di potenza, tensione 12 V |
| D1 | Diodo universale 1N 4154 o equivalente |
| IS1 | Amplificatore operazionale integrato CA 3094 T |
| K1, K2 | 2 Boccole Bil 30 |
| K3 | Connettore a tre poli |
| R1 | Resistenza 100 Ω |
| R2-R4 | 3 Resistenze 56 kΩ |
| R5 | Resistenza 150 kΩ |
| | (resistenze da 0,3 Watt, tolleranza ± 5%) |
| R6 | Potenziometro trimmer 100 kΩ |

E così, cari amici dell'elettronica, siamo arrivati alla fine del nostro viaggio nel mondo svariato degli amplificatori operazionali. È stato solo un piccolo accenno poiché le dimensioni limitate di questo manualetto non ci permettevano purtroppo di più. Ma forse ci incontreremo nuovamente in un altro libro. Arrivederci, buon divertimento e tanto successo!

# 7. Indice analitico

# biblioteca tascabile elettronica

coordinata da Mauro Boscarol

## come si lavora con gli amplificatori operazionali

Spesso coloro che tentano da soli di comprendere il funzionamento degli amplificatori operazionali, si arrendono di fronte alle difficoltà incontrate nei collegamenti. Questo volume inizia pertanto con un'esposizione delle proprietà e del funzionamento di un A.O. e prosegue (poiché meglio di tutto si impara con la pratica) con esempi di applicazioni concrete: voltmetro, raddrizzatore di precisione, preamplificatore, termostato, ecc. Una guida preziosa per studenti e hobbysti.

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Hanns-Peter Siebert | L'elettronica e la fotografia (L. 2.400) |
| 2 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori (L. 2.400)<br>Prima parte: i collegamenti |
| 3 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un circuito elettronico (L. 2.400) |
| 4 | Heinz Richter | La luce in elettronica (L. 2.400) |
| 5 | Richard Zierl | Come si costruisce un ricevitore radio (L. 2.400) |
| 6 | Richard Zierl | Come si lavora con i transistori (L. 2.400)<br>Seconda parte: l'amplificazione |
| 7 | Helmut Tünker | Strumenti musicali elettronici (L. 2.400) |
| 8 | Heinrich Stöckle | Strumenti di misura e di verifica (L. 3.200) |
| 9 | Heinrich Stöckle | Sistemi d'allarme (L. 2.400) |
| 10 | Hanns-Peter Siebert | Verifiche e misure elettroniche (L. 3.200) |
| 11 | Richard Zierl | Come si costruisce un amplificatore audio (L. 2.400) |
| 12 | Waldemar Baitinger | Come si costruisce un tester (L. 2.400) |
| 13 | Henning Gamlich | Come si lavora con i tiristori (L. 2.400) |
| 14 | Richard Zierl | Come si costruisce un telecomando elettronico (L. 2.400) |
| 15 | Hans Joachim Müller | Come si usa il calcolatore tascabile (L. 2.400) |
| 16 | Karl-Heinz Biebersdorf | Circuiti dell'elettronica digitale (L. 2.400) |
| 17 | Frahm/Kort | Come si costruisce un diffusore acustico (L. 2.400) |
| 18 | Waldemar Baitinger | Come si costruisce un alimentatore (L. 3.200) |
| 19 | Heinrich Stöckle | Come si lavora con i circuiti integrati (L. 2.400) |
| 20 | Heinrich Stöckle | Come si costruisce un termometro elettronico (L. 2.400) |
| 21 | Richard Zierl | Come si costruisce un mixer (L. 2.400) |
| 22 | Richard Zierl | Come si costruisce un ricevitore FM (L. 2.400) |
| 23 | Friedhelm Schiersching | Effetti sonori per il ferromodellismo (L. 2.400) |
| 24 | Heinrich Stöckle | Come si lavora<br>con gli amplificatori operazionali (L. 2.400) |

ISBN 88 - 7021 - 084 - 7

**L. 2.400** (2.264)